



# DESAIN KENDALI SMC PD UNTUK PENGENDALIAN TEMPERATUR PADA SISTEM *HEAT EXCHANGER*

## TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© Hak cipta milik UIN Suska Riau



UIN SUSKA RIAU

oleh:

**NUR ALFARISI**

**11355104070**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU**

**PEKANBARU**

**2021**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**DESAIN KENDALI SMC PD UNTUK PENGENDALIAN TEMPERATUR  
PADA SISTEM HEAT EXCHANGER**

**TUGAS AKHIR**

Oleh:

**NUR ALFARISI**

**11355104070**

Telah diperiksa dan disetujui sebagai Laporan Tugas Akhir  
Program Studi Teknik Elektro di Pekanbaru, pada tanggal 25 Februari 2021

Ketua Program Studi Teknik Elektro

**Ewi Ismaredan, S.Kom., M.Kom**  
NIP. 197509222009122002

Pembimbing Tugas Akhir

**Halim Mudia, S.T., M.T.**  
NIK. 130517053

UIN SUSKA RIAU



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## LEMBAR PENGESAHAN

### DESAIN KENDALI SMC PD UNTUK PENGENDALIAN TEMPERATUR PADA SISTEM HEAT EXCHANGER

#### TUGAS AKHIR

Oleh :

**NUR ALFARISI**

**11355104070**

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji  
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau  
di Pekanbaru, pada tanggal 25 Februari 2021

Pekanbaru, 25 Februari 2021

Mengesahkan,



Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

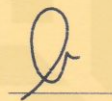
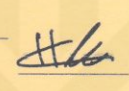
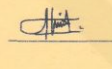

**Dr. Drs. Ahmad Darmawi, M.Ag.**  
NIP. 19660604 199203 1 004

Ketua Program Studi Teknik Elektro

**Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom.**  
NIP. 19750922 200912 2 002

#### DEWAN PENGUJI:

Ketua : Agus Firdaus Chandra, Lc., M.A  
Sekretaris : Halim Mudia, S.T., M.T  
Penguji I : Ahmad Faizal, S.T., M.T  
Penguji II : Aulia Ulah, S.T., M.Eng

UIN SUSKA RIAU





## LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas Akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau adalah terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta pada penulis. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Penggandaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
1. Dilarang menjiplak sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan didalam daftar pustaka.

Saya bersedia menerima sanksi jika pernyataan ini tidak sesuai dengan yang sebenarnya.

Pekanbaru, 24 Februari 2021

Yang membuat pernyataan,

**NUR ALFARISI**

**11355104070**

UIN SUSKA RIAU

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## LEMBAR PERSEMBAHAN

Alhamdulillah segala puji dan syukur saya ucapkan kepada Allah *subhanahu wata'ala* yang selalu memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga saya masih diberi kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. *Shalawat* dan salam tak lupa saya doakan untuk Nabi Muhammad *shallallahu 'alaihi wa sallam* yang telah mengajarkan kita sebagai umatnya akan pentingnya menuntut ilmu dan beribadah dalam mencari *ridho* Allah SWT untuk keselamatan dunia dan akhirat.

Saya persembahkan karya ilmiah ini kepada Ayahanda dan Ibunda tercinta yang sejatinya adalah semangat hidup saya atas semua pengorbanan, doa, dan jerih payahnya agar saya bisa dititik ini sekarang. Kepada dosen pembimbing saya ucapkan terimakasih telah membimbing, membantu, menasehati, dan memberi saran dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini hingga selesai tepat pada waktunya. Kepada dosen penguji terimakasih juga telah memberikan kritik dan saran yang sifatnya membangun sehingga Tugas Akhir ini mampu diselesaikan sesuai prosedur. Rasa terima kasih juga saya ucapkan kepada Rekan-rekan seperjuangan yang telah menemani saya ketika suka maupun duka, memotivasi dan menginspirasi hingga saya mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian semua dengan pahala yang berlipat ganda.

*Aamiin*

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengemukakan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



# DESAIN KENDALI SMC PD UNTUK PENGENDALIAN TEMPERATUR PADA SISTEM HEAT EXCHANGER

NUR ALFARISI

11355104070

Tanggal Sidang: 24 Februari 2021

Tanggal Wisuda:

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Jl. H.R. Soebrantas, km. 15, no. 155, Tuah Madani - Tampan - Pekanbaru

## ABSTRAK

*Heat Exchanger* (HE) merupakan salah satu peralatan yang banyak digunakan dalam proses Industri yang berfungsi untuk memindahkan energi panas antara dua atau lebih fluida. Sistem HE merupakan sistem *nonlinear*, dimana sering terjadi gangguan yang tak pasti dari dalam maupun luar sistem serta parameter yang tidak konstan. Pengendali *Sliding Mode Control* (SMC) adalah pengendali yang dipilih untuk membantu mengatasi permasalahan pada penelitian ini. Pada penelitian ini SMC dirancang dengan optimasi pengendali PD guna meredam osilasi disebabkan adanya fenomena *chattering* pada SMC. Perancangan SMC dengan optimasi PID untuk pengendalian temperature pada sistem berhasil dilakukan. Dari hasil simulasi, SMC –PD memiliki performansi yang paling baik, dengan analisa respon waktu saat mencapai kestabilan yaitu  $t_r = 0.0238$  dan  $Ess = 0$  v.

**Kata Kunci:** *Heat Exchanger* (HE), *Sliding Mode Controller* (SMC), *Proportional Derivative* (PD).



# SMC PD CONTROL DESIGN FOR CONTROLLING TEMPERATURE FOR HEAT EXCHANGER SYSTEM

**NUR ALFARISI**

**11355104070**

*Examination Date: 24<sup>th</sup> February 2020*

*Graduation Date:*

*Department of Electrical Engineering*

*Faculty of Science and Technology*

*State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau*

*H.R. Soebrantas St. km. 15, no. 155, Tuah Madani - Tampan - Pekanbaru*

## ABSTRACT

*Heat Exchanger (HE) is one of equipment that widely used in industrial process, HE functions is to transfer heat energy between two or more fluids. HE system is a nonlinear system, where usually have uncertain disturbances from inside and outside of the system and the parameters are not constant. Sliding Mode Control (SMC) control is the selected controller that used to solve problems in this study. The SMC was designed with PD controller optimization to reduce oscillations caused by the chattering phenomenon at the SMC. The design of SMC with PID optimization for temperature control in the system was successfully carried out. From the simulation results, SMC –PD has the best performance, by analyzing the response time when it reaches stability, namely  $t_r = 0.0238$  and  $E_{ss} = 0$  v.*

**Keyword:** *Heat Exchanger (HE), Sliding Mode Controller (SMC), Propotional Derivative (PD).*





## KATA PENGANTAR



*Assalammu'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh.*

*Alhamdulillah* Robbil'alamin, penulis bersyukur ke-hadirat Allah SWT, karena atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan laporan tugas akhir ini. *Allahummasholli'ala Muhammad wa'alaalisayyidina Muhammad*, yang tidak lupa penulis haturkan juga untuk Rasul Allah, Muhammad SAW. Laporan tugas akhir ini yang berjudul **“DESAIN KENDALI SMC PD UNTUK PENGENDALIAN TEMPERATUR PADA SISTEM HEAT EXCHANGER”** ini disusun sebagai salah satu prasyarat untuk memenuhi persyaratan akademis dalam rangka meraih gelar kesarjanaan di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau (UIN SUSKA Riau). Selama menyelesaikan tugas akhir ini, penulis telah banyak mendapatkan bantuan, bimbingan, arahan, dan petunjuk dari banyak pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang selalu memberikan segala nikmatnya, terutama nikmat iman dan nikmat kesehatannya yang membuat kami mampu melaksanakan Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Orang tua saya tercinta ayahanda Nurman dan ibunda syasimar, kakak pertama saya Putika Sari, kakak kedua saya Miwarni Fasrawati dan adik saya Nur Asia Dini dan Ayu. Serta keluarga besar yang telah mendo'akan dan memberikan semangat dan dorongan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Prof. Dr. Suyitno, M.Ag. selaku Plt Rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
4. Bapak Dr. Ahmad Darmawi, M.Ag. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
5. Ibu Ewi Ismaredah, S.Kom.,M.Kom selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
6. Bapak Mulyono, ST.,MT selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau dan selaku



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Penasehat Akademik yang telah banyak memberikan nasehat dan motivasi selama masa perkuliahan saya.

Bapak Halim Mudia, S.T, M.T selaku dosen pembimbing tugas akhir saya. Saya ucapkan Terimakasih banyak atas waktu, ilmu, suport, dan motivasinya yang luar biasa yang telah diberikan kepada penulis.

Bapak Aulia Ullah, S.T, M.Eng selaku dosen penguji 1, dan Bapak Ahmad Faizal, S.T.,M.T selaku dosen penguji 2, yang telah banyak memberikan masukan dan arahan kepada penulis agar tugas akhir ini dapat selesai dengan baik.

Kepada seluruh dosen dan staf Fakultas Sains dan Teknologi khususnya pada Program Studi Teknik Elektro. Terimakasih atas semua ilmu dan bimbingan yang telah diberikan.

Tuan Guru Drs. Saleh Nur, MA, Tuan Guru H. Iskandar Arnel, MA,Ph.D yang telah berpengaruh dalam hidup kami dan membantu kami dalam menemukan jati diri dan potensi dalam hidup ini.

Rekan-rekan seperjuangan yang selalu membantu, menyemangati dan menemani penulis dari awal perkuliahan hingga akhirnya penulis dapat menyelesaikan kuliah

Kakanda dan adinda di Program Studi Teknik Elektro yang telah membantu memberi dorongan, motivasi dan sumbangan pemikiran

Teman seperjuangan tugas akhir yang selalu menyemangati dan saling membantu dalam perjalanan tugas akhir ini.

Seluruh pihak yang terlibat yang tidak dapat disebutkan satu persatu penulis mengucapkan terimakasih.

Penulis menyadari bahwa dalam Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan dan kesalahan, oleh karena itu kritik dan saran yang sifatnya membangun sangat penulis harapkan untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini. Akhirnya penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan sesuatu yang bermanfaat bagi siapa saja yang membacanya, Aamiin.

*Wassalamu'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh.*

Pekanbaru, 24 Februari 2021

Penulis

**NUR ALFARISI**



## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PERSETUJUAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL .....</b>	<b>iv</b>
<b>LEMBAR PERSEMBAHAN.....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>viii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR SIMBOL.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR SINGKATAN .....</b>	<b>xviii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>I-1</b>
1.1 Latar Belakang.....	I-1
1.2 Rumusan Masalah.....	I-3
1.3 Tujuan Penelitian.....	I-3
1.4 Batasan Masalah .....	I-3
1.5 Manfaat Penelitian.....	I-3
1.6 Sistematika Penulisan .....	I-4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>II-1</b>
2.1 Peneletian Terkait.....	II-1
2.2 Dasar Teori .....	II-3
2.2.1. Sistem Pengendalian.....	II-3
2.2.2. <i>Heat Exchanger</i> .....	II-4
2.2.3. Tipe Heat Exchanger Berdasarkan Proses Transfer Panas .....	II-5
2.2.4. <i>Heat Exchanger Shell adn Tube</i> .....	II-7
2.2.5. Identifikasi Sistem Proses <i>Temperature HE</i> .....	II-8



2.3	Identifikasi Sistem .....	II-10
2.4	<i>Sliding Mode Controller (SMC)</i> .....	II-11
2.5	<i>Propotional and Derivative (PD)</i> .....	II-16
2.6	Metode Hueristik .....	II-17
2.7	Kriteria Integral Menggunakan <i>Integral of Absolute Error (IAE)</i> .....	II-18
2.8	Perangkat Lunak MATLAB .....	II-18
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>		<b>III-1</b>
3.1	Alur Metode Penelitian.....	III-1
3.2	Tahapan Penelitian .....	III-2
3.3	Pengumpulan Data.....	III-3
3.4	Penentuan Variabel.....	III-3
3.5	Perancangan Pengendali <i>Sliding Mode Controller (SMC)</i> .....	III-5
3.6	Perancangan Pengendali Propotional Derivatif (PD) .....	III-9
3.7	Perancangan Pengendali <i>Hybrid Sliding Mode</i> dan <i>Proptional Derivatif</i> .....	III-9
3.8	Perbandingan Pengendali SMC dan Pengendali SMC-PD.....	III-10
<b>BAB IV ANALISA DAN PERANCANGAN .....</b>		<b>IV-1</b>
4.1	Gambaran Umum Analisa Sistem .....	IV-1
4.2	Hasil pengujian sistem Heat Exchanger secara <i>close loop</i> .....	IV-1
4.3	Hasil Penelaan Nilai Parameter Pengendali dengan Metode Heuristik.....	IV-5
	4.3.1. Penalaan Nilai Parameter Pengendali SMC .....	IV-5
	4.3.2. Penalaan Nilai Parameter Pengendali SMC-PD .....	IV-8
4.4	Analisa Kekokohan Pengendali terhadap Gangguan pada Sistem HE.....	IV-11
4.5	Analisa Kekokohan Pengendali dalam Mengatasi Gangguan Perubahan <i>Setpoint</i> IV-12	
4.6	Analisa Kestabilan Pengendali SMC berdasarkan Kestabilan <i>Lyapunov</i> .....	IV-13
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>		<b>V-1</b>





5.1	Kesimpulan.....	V-1
5.2	Saran .....	V-1

## DAFTAR PUSTAKA

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau



UIN SUSKA RIAU

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2. 1 Diagram blok sederhana dari sistem <i>loop</i> terbuka.....	II-3
Gambar 2. 2 Diagram blok sederhana dari sistem <i>loop</i> tertutup .....	II-4
Gambar 2. 3 <i>Heat Exchanger</i> (HE) [21].....	II-5
Gambar 2. 4 Bagian <i>Heat Exchanger</i> (HE) [22] .....	II-8
Gambar 2. 5 Data Pengukuran Sistem [5] .....	II-8
Gambar 2. 6 Pemodelan Sistem[6] .....	II-9
Gambar 2. 7 Respon sistem orde satu [2] .....	II-10
Gambar 2. 8 Diagram <i>Trajectories</i> Status[23] .....	II-12
Gambar 2. 9 <i>Chattering Effect</i> [23] .....	II-13
Gambar 2. 10 Fungsi Saturasi dan Arcus Tangen[24].....	II-13
Gambar 2. 11 Permukaan Luncure SMC[23] .....	II-15
Gambar 2. 12 Diagram Blok PD [24].....	II-16
Gambar 2. 13 Tampilan awal MATLAB.....	II-19
Gambar 2. 14 Tampilan Matlab.....	II-19
Gambar 2. 15 Kotak dialog <i>Simulink Library Browser</i> .....	II-20
Gambar 3.1 <i>Flow Chart</i> Penelitian.....	III-1
Gambar 3. 2 Diagram Blok <i>Close Loop</i> Sistem Heat Exchanger Tipe <i>Shell and Tube</i> ...	III-3
Gambar 3. 3 Grafik keluaran <i>Close Loop</i> Sistem Heat Exchanger Tipe <i>Shell and Tube</i> .	III-3
Gambar 3. 4 Respon Keluaran <i>Close Loop</i> pada <i>Workspace</i> .....	III-4
Gambar 3. 5 Diagram Blok Pengendalian <i>Temperature</i> pada HE dengan .....	III-5
Gambar 3. 6 Diagram Blok Simulink Pengendali <i>Sliding Mode</i> .....	III-9
Gambar 3. 7 Diagram Blok Pengendalian <i>Temperature</i> pada HE dengan Pengendali PD	III-9
Gambar 3. 8 Diagram Blok Simulink Pengendali PD .....	III-9
Gambar 3. 9 Diagram Blok Pengendalian <i>Temperature</i> pada HE dengan Pengendali SMC-PD .....	III-10
Gambar 3. 10 Diagram Blok Simulink dengan Pengendali SMC-PD.....	III-10
Gambar 3. 11 Diagram Blok Simulink Perbandingan Pengendali SMC dan SMC-PD .	III-10
Gambar 4. 1 Respon Keluaran <i>Close Loop</i> sistem HE dengan <i>Setpoint</i> 1v .....	IV-3
Gambar 4. 2 Hasil Respon Keluaran Pengendali SMC pada HE dengan $\eta = 100$ .....	IV-6



- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Gambar 4. 3 Respon Keluaran SMC pada HE dalam tabel <i>Workspace</i> .....	IV-7
Gambar 4. 4 Hasil Respon Keluaran Pengendali SMC-PD pada HE dengan $\eta=100$ , $K_p=100$ dan $K_d=1$ .....	IV-9
Gambar 4.5 Respon Keluaran Pengendalian Temperatur dengan Gangguan sebesar 20% pada detik ke-2 dan 50% pada detik ke-4.....	IV-11
Gambar 4. 6 Respon Keluaran Pengendalian Temperatur dengan Gangguan berupa Perubahan dari <i>Setpoint</i> Tegangan Input.....	IV-12





## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1 Karakteristik gain dari pengontrol Proportional, dan Derivatif dan pengaruhnya terhadap sistem [25].....	II-17
Tabel 3.1 Analisa respon <i>close loop setpoint</i> 1v .....	III-5
Tabel 4.1 Analisa Respon Transien <i>Close Loop</i> Sistem HE .....	IV-4
Tabel 4.2 Nilai Parameter $\eta$ untuk Pengendalian Temperatur menggunakan Pengendali SMC dengan Analisa IAE .....	IV-5
Tabel 4.3 Analisa Respon Transien menggunakan Pengendali SMC .....	IV-8
Tabel 4.4 Nilai Parameter $\eta$ untuk Pengendalian Temperatur menggunakan Pengendali SMC-PD dengan Analisa IAE .....	IV-8
Tabel 4.5 Analisa Respon Transien menggunakan Pengendali SMC-PD .....	IV-10
Tabel 4.6 Analisa Perbandingan Respon Transien pada saat Sistem diberi Gangguan berupa Perubahan dari <i>Setpoint</i> Tegangan Input .....	IV-12

1. Disarankan untuk mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## DAFTAR SIMBOL

*Integral*  
*delta*  
*eta*  
*lamda*  
*tau*

### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## DAFTAR SINGKATAN

HE	= <i>Heat Exchanger</i>
SMC	= <i>Sliding Mode Control</i>
PID	= Proporsional, integral dan derivative
Sgn	= <i>signum</i>
Sat	= Saturasi.
Ts	= <i>Time Sampling</i>
Tr	= <i>Rise Time</i>
Td	= <i>Time Delay</i>
ts	= <i>Time Settling</i>
MATLAB	= <i>Matrix Laboratory</i>

Hak Cipta Dinding Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi sangat berkembang pesat dari berbagai bidang yang memungkinkan untuk terjadinya otomatisasi di hampir semua bidang, salah satunya di bidang Industri. Memasuki era industri 4.0, di mana sektor industri dituntut untuk memanfaatkan teknologi canggih atau digitalisasi sehingga bisa meningkatkan kapasitas dan kualitas produk secara lebih efisien [1]. Salah satu upaya yang dilakukan untuk menghasilkan produk yang berkualitas, dibutuhkan perancangan sistem kendali agar bekerja secara otomatis.

Sistem kendali adalah suatu alat (kumpulan alat) untuk mengendalikan, memerintah, dan mengatur keadaan dari suatu sistem [2]. Sistem kendali memberikan peran penting pada suatu sistem yang dikendalikannya. Penggunaan sistem kendali otomatis ini menjadi suatu kebutuhan yang sangat utama karena mampu mengatur proses produksi agar dapat berjalan sesuai dengan yang diinginkan. Sistem kendali otomatis ini juga mampu memperbaiki performansi dari *plant*, meningkatkan efisiensi dan efektifitas dalam proses industri [3]. Pada dunia industri banyak proses kimia industri yang memiliki sifat *non linear* yang tinggi. Salah satu sistem yang sering digunakan yang bersifat *non linear* adalah sistem *Heat Exchanger* (HE).

*Heat Exchanger* (HE) merupakan suatu alat untuk proses pertukaran panas, yang berfungsi untuk memindahkan panas antara dua fluida yang berbeda temperatur dan dipisahkan oleh suatu sekat pemisah [4]. Proses kimia perpindahan energi ataupun perpindahan panas adalah proses yang banyak terjadi pada dunia industri. Proses perpindahan panas ini dapat diatur untuk memperoleh temperatur fluida sesuai dengan kriteria yang diinginkan agar tidak terdapat energi yang terbuang, sehingga pemanfaatan sumber energi yang tersedia benar-benar dapat lebih efisien. Pada sistem HE masalah yang sering terjadi yaitu perubahan temperatur ketika melakukan perpindahan panas, sehingga perlunya dilakukan suatu pengendalian terhadap temperaturnya dengan mengubah-ubah besar tegangan pada HE agar produktifitas HE semakin meningkat dan meminimalkan kesalahan proses pada HE[5]. Mengenai penelitian Sistem HE telah banyak dilakukan pada penelitian sebelumnya, diantaranya yaitu tuning parameter PID dengan metode *Ciancone*



pada plant HE [6] Metode LQR hybrid PID [7] dan Optimasi Sistem umpan balik LQG [8] dan lain sebagainya. Berdasarkan penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa sistem *Heat Exchanger* merupakan sistem *non linear*, dimana sistem *nonlinear* sering terjadinya gangguan yang tak pasti dari dalam maupun luar sistem serta parameter yang tidak konstan. Salah satu pengendali yang dapat mengendalikan sistem *linear* dan *non linear* adalah *Sliding Mode Control* (SMC).

*Sliding Mode Controller* (SMC) memiliki beberapa keunggulan, yaitu sifatnya yang sangat *robust*, mampu bekerja dengan baik pada sistem non linear yang memiliki ketidakpastian model ataupun parameter [9]. Pengendali SMC memiliki tujuan memaksa dan membatasi variabel yang dikendalikannya untuk berada pada permukaan luncur dan menjaganya agar tetap berada pada keadaan yang diinginkan. Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya membuktikan bahwa SMC merupakan pengendalian yang kokoh, salah satunya penelitian yang dilakukan oleh Zhang dan Zhao, yang membahas tentang perbandingan pengendali antara Proporsional Integral (PI), SMC dan *Fuzzy Logic Control* (FLC). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa pengendali SMC dan FLC memberikan kinerja yang sangat baik dibandingkan pengendali PI, tetapi untuk implementasi SMC lebih mudah dibandingkan FLC dan PI [10]. Hal tersebut membuktikan *sliding mode controller* (SMC) merupakan pengendali yang kokoh. Penelitian selanjutnya Pengendalian posisi pada *magnetic levitation ball* dengan pengendali *sliding mode* dengan optimasi PID menunjukkan performansi yang baik. Pengendali *sliding mode* dengan optimasi PID berhasil mencapai kestabilan yang baik didapatkan analisa respon waktu pada saat memasuki daerah stabil yaitu 0.1455 s dan dapat menghilangkan osilasi yang terjadi pada sistem [11]. Selanjutnya penelitian Pengendalian *level* dan konsentrasi pada *continuous stirred tank reactor (cstr)* menggunakan *sliding mode control* dengan permukaan luncur *proportional derivative*. Menunjukkan respon pengendali SMC PD memasuki daerah stabil untuk mencapai *setpoint* yang diberikan (*settling time*/ts) dengan memasuki daerah stabil pada waktu 0.53 detik dan mencapai nilai *setpoint* yang diberikan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan pengendali SMC memasuki daerah stabil pada waktu 4.495 detik dan PID memasuki daerah stabil pada waktu 1.87 detik [12].

Berdasarkan penelitian di atas, hasil respon sistem menggunakan SMC berhasil mencapai *setpoint* yang diinginkan dan bekerja sangat baik pada sistem *non linear*. Pada pengendali SMC memiliki kekurangan yaitu terletak pada *chattering* (osilasi) yang tidak





bisa dihilangkan sehingga mampu mengakibatkan terjadinya *eror steady state* [13]. Sehingga diperlukan pengendali yang mampu untuk mengendalikan *chattering* tersebut.

SMC akan dikombinasikan dengan PD, dimana pengendali *Proportional* (P) dan *Derivative* (D) yang dapat mempercepat respon sistem, meningkatkan kestabilan dan menurunkan osilasi [11]. Hasil respon sistem menggunakan SMC PID menunjukkan tidak adanya pengaruh yang signifikan dari pengendali *Integral* (I) terhadap hasil keluaran. Peneliti tidak menambahkan pengendali *Integral* (I), keluaran pengendali ini membutuhkan selang waktu tertentu, sehingga cenderung memperlambat respon (14). Oleh karena itu, penulis tertarik melakukan tugas akhir dengan judul **“DESAIN KENDALI SMC PD UNTUK PENGENDALIAN TEMPERATUR PADA SISTEM *HEAT EXCHANGER*”**.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana mendesain Kendali SMC dengan optimasi PD untuk mengatur suhu pada sistem *Heat Exchanger*.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah merancang SMC-PD untuk mengendalikan suhu pada *Heat Exchanger* agar bisa mengikuti nilai *setpoint* yang diberikan serta mampu mengatasi gangguan atau perubahan *setpoint* dan mendapatkan kestabilan yang baik.

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah diperlukan agar pembahasan tidak terlalu luas, maka penelitian ini membatasi masalah sebagai berikut:

1. Penurunan model matematis berdasarkan penelitian Murie Dwiyaniti[6],
2. Parameter yang dikendalikan hanya suhu pada *Heat Exchanger*,
3. Tidak ada pembahasan tentang *hardware*,
4. Sistem yang dibuat berupa simulasi menggunakan *software* MATLAB.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu:

1. Menghasilkan sebuah rancangan sistem kendali yang menggunakan pengendali SMC PD untuk mengatur temperatur pada sistem *Heat Exchanger*, dan



2. Dapat dijadikan referensi dalam mengaplikasikan sistem kendali pada proses industri.
3. Menjadi referensi tambahan untuk penelitian-penelitian berikutnya.

## 1.6 Sistematika Penulisan

### BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini, dijelaskan mengenai hal umum dari Tugas Akhir ini, yang terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

### BAB II LANDASAN TEORI

Berisi mengenai penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dan pengetahuan dasar yang berhubungan dengan Tugas Akhir yang peneliti lakukan. Teori yang akan dibahas pada Tugas Akhir ini yaitu : Sistem pengendalian, HE (*Heat Exchanger*), metode identifikasi sistem, PD (*Proportional dan Derivative*), SMC (*Sliding Mode Control*), Metode *Heuristic* dan MATLAB.

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi penjelasan mengenai tahapan dalam proses penelitian Tugas Akhir yang penulis lakukan. Dimulai dari identifikasi serta perumusan masalah, pengumpulan data, analisa dan perancangan, pengujian sistem, serta kesimpulan dan saran.

### BAB IV HASIL DAN ANALISA

Bab ini menjelaskan tentang pengujian performansi pengendali dan identifikasi sistem dari setiap pengendali.

### BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang didapatkan berdasarkan hasil dan analisa, dan saran yang akan dilakukan untuk penelitian ke depannya.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang penelitian terkait yang telah dilakukan sebelumnya dan terdapat penjelasan tentang dasar teori yang dipakai dalam mengerjakan Tugas Akhir ini. Dasar teori tersebut meliputi : sistem pengendalian, sistem pengendalian proses, dinamika sistem *Heat Exchanger*, pemodelan matematis *Heat Exchanger*, identifikasi sistem, pengendali *Sliding Mode Controller* (SMC), permukaan luncur, kestabilan *Lyapunov* pengendali *Proportional Derivative* (PD), dan perangkat lunak MATLAB.

#### 2.1 Peneletian Terkait

Dalam penelitian Tugas Akhir ini dilakukan studi literatur yang merupakan pencarian teori serta referensi yang relevan dengan kasus dan permasalahan yang akan diselesaikan, teori dan referensi didapat dari jurnal, paper, buku dan sumber lainnya.

Penelitian yang berjudul Tuning Parameter PID dengan Metode *Ciancone* pada *Plant Heat Exchanger*, pada penelitian ini disimpulkan bahwa tuning parameter PID dengan metode *ciancone* sangat mudah, sederhana, dan telah berhasil mengendalikan suhu pada sistem *Heat Exchanger* dengan parameter PID yang didapat adalah  $K_c = 0.9$ ,  $1/T_i = 1/28.08$ , dan  $T_d = 2.16$ . Namun, hasil yang didapat pada penelitian ini tidak optimal karena suhu pada *Heat Exchanger* dapat mencapai *setpoint* dengan *rise time* 21.9 detik, dan saat dilakukan perubahan *setpoint* pengendali ini mampu kembali ke keadaan *steady state* dalam waktu 150 detik setelah terjadi gangguan [6].

Penelitian selanjutnya “*fuzzy Sliding Mode Control of a magnetic ball suspension*”. Pada penelitian ini Hasil eksperimen menunjukkan Metode *Sliding Mode Control* memiliki *chattering* yang cukup besar. Memperkecil *chattering* yang disebabkan frekuensi tinggi dapat digunakan metode *adaptive fuzzy estimator Sliding Mode Control*. *Adaptive fuzzy estimator Sliding Mode Control* memiliki kinerja yang lebih baik daripada *Sliding Mode Control* saat diberi gangguan (*disturbance*) [15]. Dari penelitian yang dijabarkan di atas dapat disimpulkan bahwa SMC memiliki kelemahan yaitu *chattering* yang harus diminimalisir.

Penelitian selanjutnya yang berjudul Studi Performansi Pengendali *Sliding Mode* dan PID pada Pengendalian Kecepatan Motor DC. Pada penelitian ini peneliti studi performansi pengendali *sliding mode* dan PID pada pengendalian kecepatan motor DC,





dari hasil penelitian didapat bahwa pengendali *sliding mode* menghasilkan performansi yang lebih baik dari PID dengan perbandingan waktu transien sebesar 1 : 3. Untuk menghasilkan performansi yang lebih baik, pengendali *sliding mode* dapat dikombinasikan dengan pengendali lain[16].

Kemudian penelitian yang berjudul Desain Sistem Kendali *Rotary* Pendulum dengan *Sliding*-PID disimpulkan bahwa penggunaan pengendali *sliding*-PID menghasilkan respon yang lebih baik dibandingkan dengan kendali PID jika dilihat dari persentase maksimum *overshoot*. Nilai maksimum *overshoot* pada pengendali *sliding*-PID lebih kecil daripada pengendali PID[17]

Penelitian selanjutnya yang berjudul Pengendali *Level Couple Tank* menggunakan Metode *Sliding Mode Controller* (SMC) *Hybrid Proportional Integral Derivative* (PID) di Simulink MATLAB. Penelitian ini membandingkan pengendali SMC, PID, dan SMC *hybrid* PID pada sistem *level couple tank*. Kesimpulan yang didapat bahwa respon transien pengendali SMC *hybrid* PID lebih cepat jika dibandingkan dengan pengendali dua lainnya yaitu SMC dan PID saja[18].

Kemudian penelitian selanjutnya penelitian yang berjudul Analisa Level dan Konsentrasi pada *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) menggunakan SMC dengan permukaan luncur *Propotional Derivative*. Pada penelitian ini dilakukan perbandingan dengan menggunakan pengendali SMC, PID dan SMC-PD. Perbandingan tersebut menunjukkan bahwa CSTR menggunakan pengendali *hybrid* SMC dan PD menunjukkan performansi yang paling baik. Hal ini terbukti dari hasil visualisasi dan analitik yang telah dilakukan. terlihat bahwa respon pengendali SMC PD memasuki daerah stabil untuk mencapai *setpoint* yang diberikan (*settling time*/ts) dengan waktu yang lebih cepat dibandingkan dengan pengendali SMC dan PID dengan memasuki daerah stabil pada waktu 0.53 detik dan mencapai nilai *setpoint* yang diberikan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan pengendali SMC memasuki daerah stabil pada waktu 4.495 detik dan PID memasuki daerah stabil pada waktu 1.87 detik [12].

Penelitian selanjutnya tentang *turret-gun* yaitu dengan menghibridakan pengendali SMC dan PD metode ini digunakan untuk mendapatkan respon yang stabil, mampu meredam osilasi, menghilangkan *error* dan mencapai *setpoint* serta dapat mempertahankan kestabilan posisi *turret-gun* pada sumbu elevasi. Dari hasil pengujian penelitian tersebut memberikan performansi yang baik dalam pengendalian posisi sumbu elevasi dilihat dari waktu untuk mencapai *setpoint* yang diinginkan, *rise time* sebesar 0.2489 detik, *settling*





time 0.4328 detik dan tidak memiliki *error steady state* dan *overshoot*, dimana nilai parameter  $\eta = 100$  dan nilai parameter  $K_p = 9100$  dan  $K_d = 4000$ . Berdasarkan beberapa penelitian rujukan tersebut sistem pengendali *hybrid SMC* dan *PD* yang menghasilkan performansi yang paling baik hal ini dikarenakan karakteristik *SMC* yang cocok dengan *turret-gun*[19].

Berdasarkan beberapa penelitian inilah penulis ingin menggabungkan dua pengendali *SMC* dan *PD* yang dapat mempercepat respon sistem, meningkatkan kestabilan dan menurunkan *Overshoot* pada pengukuran suhu sistem *Heat Exchanger*.

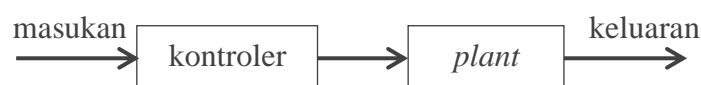
## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1. Sistem Pengendalian

Sistem pengendalian adalah sebuah peralatan atau susunan beberapa komponen, membentuk suatu sistem yang saling terhubung dan membuat suatu aksi pengendalian untuk memerintah, mengarahkan dan mengatur sistem itu sendiri atau sistem yang lain[2].

Secara umum, suatu sistem pengendalian dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan jenis operator nya, sistem pengendalian dibagi menjadi dua, yaitu manual dan otomatis.
  - a. Pengendalian secara manual adalah pengendalian yang dilakukan oleh manusia yang bertindak sebagai operator.
  - b. Pengendalian otomatis adalah pengendalian yang dilakukan oleh komputer, mesin, atau peralatan yang bekerja secara otomatis dan operasinya dibawah pengawasan manusia.
2. Berdasarkan bentuk jaringannya, sistem pengendalian dibagi dua yaitu jaringan *loop* terbuka dan *loop* tertutup.
  - a. Sistem *loop* terbuka adalah sistem pengendalian dimana keluaran tidak memberikan efek terhadap besaran masukan sehingga variabel yang dikendalikan tidak dapat dibandingkan terhadap nilai yang diinginkan [2].

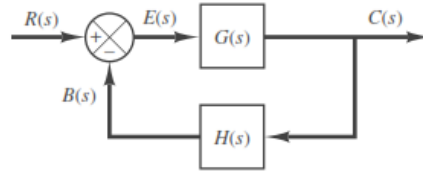


Gambar 2. 1 Diagram blok sederhana dari sistem *loop* terbuka

- b. Sistem *loop* tertutup adalah sistem pengendalian dimana besaran keluaran memberikan efek terhadap besaran masukan sehingga besaran yang dikendalikan



dapat dibandingkan dengan nilai yang diinginkan (*reference point*). Sistem *loop* tertutup juga disebut sebagai sistem *feedback control*. Gambar 2.2 menunjukkan diagram blok umum sistem *loop* tertutup [2].



Gambar 2. 2 Diagram blok sederhana dari sistem *loop* tertutup

Pada gambar 2.2,  $R(s)$  adalah *reference point* atau nilai yang diinginkan,  $B(s)$  adalah sinyal umpan balik,  $E(s)$  adalah sinyal *error*,  $C(s)$  adalah keluaran sistem,  $G(s)$  adalah *plant*, dan  $H(s)$  adalah elemen umpan balik.

Salah satu tujuan dari penggunaan sistem pengendali pada suatu *plant* adalah untuk memperoleh suatu sistem yang stabil. Ada beberapa metode yang umum digunakan untuk menentukan atau menguji kestabilan suatu sistem. Pada sistem linear dapat menggunakan kriteria *Nyquist*, *Routh-Hwitz*, atau *Root Locus*. Pada suatu sistem non linier umumnya digunakan metode *Lyapunov* atau dengan melihat responnya secara langsung.

Semua *uncertainty*/ketidakpastian pada suatu sistem merupakan gangguan bagi sistem. Gangguan adalah suatu sinyal yang cenderung mempunyai pengaruh yang merugikan pada nilai keluaran sistem. Jika suatu gangguan dibangkitkan dari dalam sistem disebut gangguan internal, diantaranya adalah ketidakpastian model atau parameter pada sistem. Sedangkan gangguan eksternal dibangkitkan dari luar sistem dan merupakan suatu masukan atau sinyal tambahan bagi sistem.

### 2.2.2. Heat Exchanger

Gambar HE (*Heat Exchanger*) merupakan alat yang berfungsi memindahkan energi panas antara dua fluida atau lebih fluida, perpindahan ini dapat terjadi pada temperatur yang berbeda antar beberapa fluida yang mana satu fluida memiliki temperatur yang lebih tinggi dan fluida yang lain memiliki temperatur yang lebih rendah [20]. *Heat Exchanger* banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari dan di industri. Sebagai contoh dalam kehidupan sehari-hari sering dipergunakan peralatan masak memasak yang semuanya sebenarnya merupakan alat penukar kalor. Di dalam mobil maupun alat transportasi lainnya banyak dijumpai radiator maupun alat mengkondisikan udara kabin, yang



keduanya juga merupakan penukar kalor. Di industri, banyak sekali peralatan penukar kalor seperti ketel uap (boiler), pemanas lanjut (super heater), pendingin oli pelumas (oil cooler), kondensor (condenser), dan lain-lain. Jika ditinjau dari fungsinya, semua penukar kalor sebenarnya sama fungsinya yaitu menukarkan energi yang dimiliki oleh suatu fluida atau zat ke fluida atau zat lainnya.



Gambar 2. 3 *Heat Exchanger* (HE) [21]

### 2.2.3. Tipe *Heat Exchanger* Berdasarkan Proses Transfer Panas

*Heat exchanger* dapat diklasifikasikan menjadi berbagai jenis berdasarkan beberapa aspek, secara ringkas diantaranya[20]

#### 2.2.3.1 *Heat Exchanger* Tipe Kontak tak Langsung

*Heat Exchanger* tipe ini melibatkan fluida-fluida yang saling bertukar panas dengan adanya lapisan dinding yang memisahkan fluida-fluida tersebut. Sehingga pada *Heat Exchanger* jenis ini tidak akan terjadi kontak secara langsung antara fluida-fluida yang terlibat. *Heat Exchanger* jenis ini masih dibagi menjadi beberapa jenis lagi, yaitu:

##### a. *Heat Exchanger* Tipe *Direct-Transfer*

Pada *Heat Exchanger* tipe ini, fluida-fluida kerja mengalir secara terus-menerus dan saling bertukar panas dari fluida panas ke fluida yang lebih dingin dengan melewati dinding pemisah. Yang membedakan *Heat Exchanger* tipe ini dengan tipe kontak tak langsung lainnya adalah aliran fluida-fluida kerja yang terus-menerus mengalir tanpa terhenti sama sekali. *Heat Exchanger* tipe ini sering disebut juga dengan *Heat Exchanger recuperator*.

##### b. *Storage Type Exchanger*





#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

*Heat Exchanger* tipe ini memindahkan panas dari fluida panas ke fluida dingin secara *intermittent* (bertahap) melalui dinding pemisah. Sehingga pada jenis ini, aliran fluida tidak secara terus-menerus terjadi, ada proses penyimpanan sesaat sehingga energi panas lebih lama tersimpan di dinding-dinding pemisah antara fluida-fluida tersebut. Tipe ini biasa pula disebut dengan *regenerative Heat Exchanger*.

#### c. *Fluidized-Bed Heat Exchanger*

*Heat Exchanger* tipe ini menggunakan sebuah komponen solid yang berfungsi sebagai penyimpan panas yang berasal dari fluida panas yang melewatinya. Fluida panas yang melewati bagian ini akan sedikit terhalang alirannya sehingga kecepatan aliran fluida panas ini akan menurun, dan panas yang terkandung di dalamnya dapat lebih efisien diserap oleh padatan tersebut. Selanjutnya fluida dingin mengalir melalui saluran pipa-pipa yang dialirkan melewati padatan penyimpan panas tersebut, dan secara bertahap panas yang terkandung di dalamnya ditransfer ke fluida dingin.

### 2.2.3.2 Heat Exchanger Tipe Kontak Langsung

Suatu alat yang di dalamnya terjadi perpindahan panas antara satu atau lebih fluida dengan diikuti dengan terjadinya pencampuran sejumlah massa dari fluida-fluida tersebut disebut dengan *Heat Exchanger* tipe kontak langsung. Perpindahan panas yang diikuti pencampuran fluida-fluida tersebut, biasanya diikuti dengan terjadinya perubahan fase dari salah satu atau lebih fluida kerja tersebut. Terjadinya perubahan fase tersebut menunjukkan terjadinya perpindahan energi panas yang cukup besar. Perubahan fase tersebut juga meningkatkan kecepatan perpindahan panas yang terjadi. Macam-macam dari *Heat Exchanger* tipe ini antara lain adalah:

#### a. *Immiscible Fluid Exchangers*

*Heat Exchanger* tipe ini melibatkan dua fluida dari jenis berbeda untuk dicampurkan sehingga terjadi perpindahan panas yang diinginkan. Proses yang terjadi kadang tidak akan mempengaruhi fase dari fluida, namun bisa juga diikuti dengan proses kondensasi maupun evaporasi. Salah satu penggunaan *Heat Exchanger* ini adalah pada sebuah alat pembangkit listrik tenaga surya.

#### b. *Gas-Liquid Exchanger*

Pada tipe ini, ada dua fluida kerja dengan fase yang berbeda yakni cair dan gas. Namun umumnya kedua fluida kerja tersebut adalah air dan udara. Salah satu





Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber;

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

aplikasi yang paling umum dari *Heat Exchanger* tipe ini adalah pada *cooling tower* tipe basah. *Cooling tower* biasa dipergunakan pada pembangkit-pembangkit listrik tenaga uap yang terletak jauh dari sumber air. Udara bekerja sebagai media pendingin, sedangkan air bekerja sebagai media yang didinginkan. Air disemprotkan ke dalam *cooling tower* sehingga terjadi percampuran antara keduanya diikuti dengan perpindahan panas. Sebagian air akan terkondensasi lagi sehingga terkumpul pada sisi bawah *cooling tower*, sedangkan sebagian yang lain akan menguap dan ikut terbawa udara ke atmosfer.

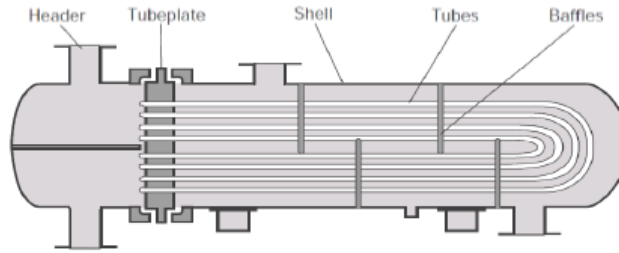
c. *Liquid-Vapour Exchanger*

Perpindahan panas yang terjadi antara dua fluida berbeda fase yakni uap air dengan air, yang juga diikuti dengan pencampuran sejumlah massa antara keduanya, termasuk ke dalam *Heat Exchanger* tipe kontak langsung. *Heat Exchanger* tipe ini dapat berfungsi untuk menurunkan temperatur uap air dengan jalan menyemprotkan sejumlah air ke dalam aliran uap air atau juga berfungsi untuk meningkatkan temperatur air dengan mencampurkan uap air ke sebuah aliran air (proses ini terjadi pada bagian *deaerator* pada siklus pembangkit listrik tenaga uap).

#### 2.2.4. *Heat Exchanger Shell dan Tube*

*Heat Exchanger* (HE) tipe ini adalah salah satu jenis HE yang menurut konstruksinya terdiri dari sebuah *Shell* silindris di bagian luar dan sejumlah *Tube* di bagian dalam. Alat ini memiliki temperatur berbeda pada dua bagiannya sehingga terjadi perpindahan panas antara aliran fluida di dalam dan di luar *Tube*. Adapun yang berhubungan dengan bagian dalam *Tube* disebut *Tube Side* yang di bagian luar disebut *Shell Side* [20]

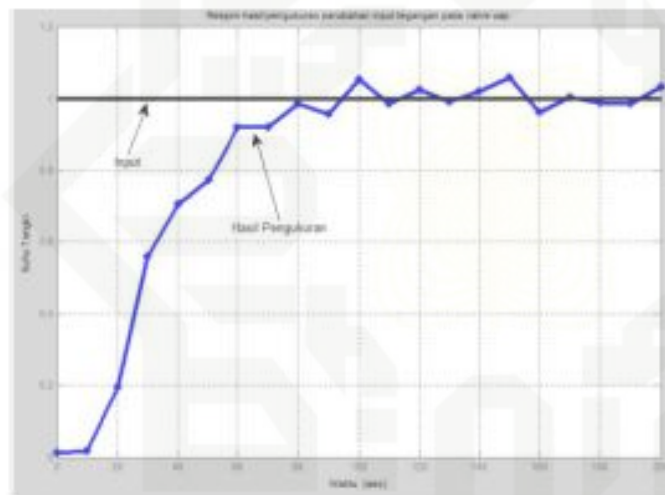
Pada HE tipe ini proses mengalirnya fluida terjadi secara terpisah, dimana satu fluida mengalir dalam pipa dalam bidang lainnya dialirkan dalam *Shell*. Ketika melakukan proses perpindahan fluida, pada bagian *Tube* ditahan dengan sekat (*baffle*). Pada bagian *Shell* harus ada ruang bebas (*Clearance*) antara *Shell* dan sekat, yang mana ruang bebas tersebut dapat mempengaruhi aliran fluida di luar *Tube*. Semakin besar ruang bebas akan semakin besar pula kebocoran antara *Shell* dan sekat (*baffle*) [18].



Gambar 2. 4 Bagian *Heat Exchanger* (HE) [22]

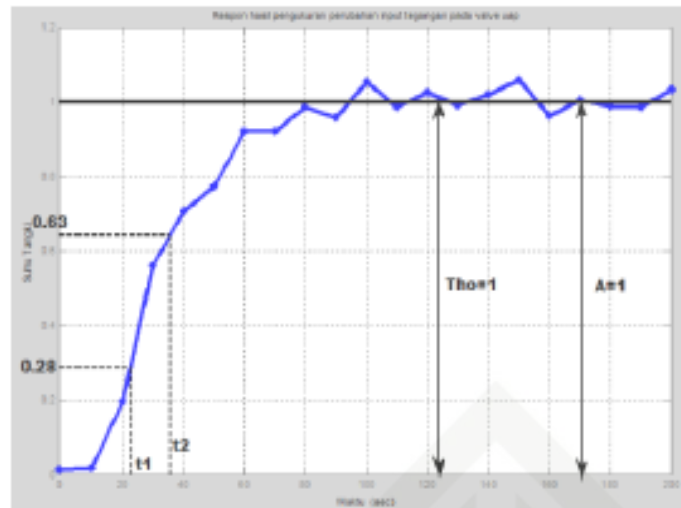
### 2.2.5. Identifikasi Sistem Proses *Temperatur HE*

Pemodelan Pada penelitian sebelumnya [6], sistem sudah diidentifikasi terlebih dahulu dengan membuat sistem *open loop*. *Input step* berupa tegangan diberikan ke valve lalu keluaran sistem berupa suhu pada tangki direkam. Hasilnya dapat dilihat pada gambar 2.5:



Gambar 2. 5 Data Pengukuran Sistem [5]

Dari data pengukuran sistem pada gambar 2.5, dibuatlah pemodelan matematika sistem ini dalam bentuk fungsi alih dengan pendekatan orde satu. Fungsi alih berguna untuk melakukan analisa dinamik dan perancangan sistem pengendali. Berikut persamaan fungsi alih dari sistem.



Gambar 2. 6 Pemodelan Sistem[6]

Dari gambar 2.6, didapat parameter sebagai berikut:

1. Melakukan pendekatan orde satu terhadap data (Gambaran 2.6) dengan pemodelan grafik *ciancone* dengan menghitung penguatan *proportional* ( $K_p$ ) yang merupakan nilai keluaran ( $\Delta$ ) dibagi dengan nilai masukan ( $\delta$ )

$$A = \Delta = 1 \quad (2.1)$$

$$Tho = \delta = 1 \quad (2.2)$$

$$Kp = \frac{\Delta}{\delta} = \frac{1}{1} = 1 \quad (2.3)$$

2. Menentukan konstanta waktu ( $\tau$ ) dengan mencari waktu yang diperlukan untuk mencapai 28% dari keadaan mapan ( $t_{28\%}$ ) dan waktu yang diperlukan untuk mencapai 63% keadaan mapan ( $t_{63\%}$ )

$$\Delta_{28\%} = 1 \times 28\% = 0.28 \quad (2.4)$$

$$\Delta_{63\%} = 1 \times 63\% = 0.63 \quad (2.5)$$

$$t_{28\%} = t_1 = 21,8 \text{ detik} \quad (2.6)$$

$$t_{63\%} = t_2 = 36 \text{ detik} \quad (2.7)$$

$$\tau = 1,5(t_{63\%} - t_{28\%}) = 1,5(36 - 21,8) = 21,3 \quad (2.8)$$

3. Mencari waktu tunda ( $\theta$ ) dengan persamaan



$$\theta = t63\% - \tau = 36 - 21,3 = 14,70 \quad (2.9)$$

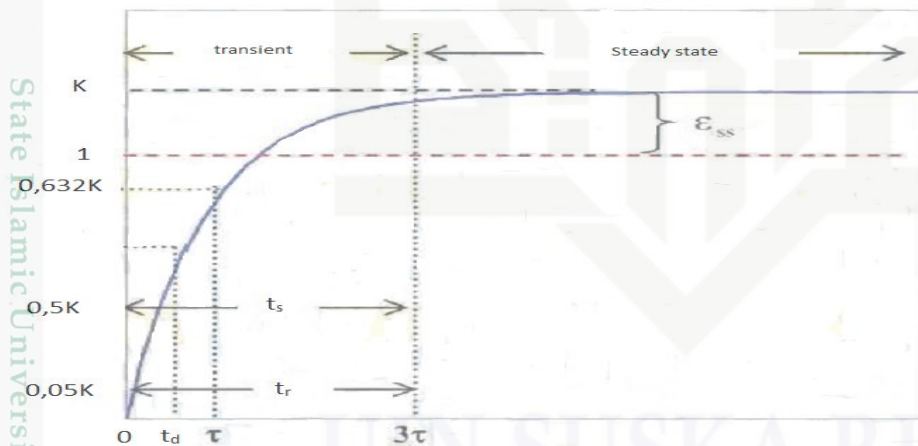
Maka fungsi alih sistem adalah :

$$\frac{Y_{(s)}}{U_{(s)}} = \frac{Kpe^{-\theta s}}{\tau s + 1} = \frac{1e^{-14.7}}{21.3s + 1} \quad (2.10)$$

### 2.3 Identifikasi Sistem

Metode Pengendalian suhu pada Heat Exchanger merupakan sistem ber orde satu, oleh sebab itu metode identifikasi yang dilakukan adalah metode identifikasi statis. Metode identifikasi dilakukan dengan pendekatan grafis, di mana sinyal uji diberikan pada sistem untuk mengetahui respon open loop sistem. Dari respon sistem, dapat diketahui karakteristik-karakteristik penting dari sistem.

Salah satu metode identifikasi statis adalah metode pengamatan respon waktu. Identifikasi sistem dengan metode ini bekerja berdasarkan pengamatan grafis terhadap masukan step. Karakteristik respon waktu untuk sistem orde pertama diberikan berdasarkan respon sistem terhadap masukan step. Karakteristik respon waktu sistem orde pertama dibedakan menjadi karakteristik respon transien dan keadaan tunak (steady state). Grafik respon sistem orde pertama untuk  $X_{ss} = 1$  dan  $Y_{ss} = K$  yang ditunjukkan pada Gambar 2.7 berikut:



Gambar 2. 7 Respon sistem orde satu [2]

Respon transien terdiri dari [2]:

- a) Spesifikasi teoritis:

Konstanta waktu ( $\tau$ ), adalah waktu yang dibutuhkan respon mulai dari  $t=0$  sampai dengan respon mencapai 63,2% dari respon *steady state*. Konstanta waktu menyatakan





kecepatan respon sistem. Konstanta waktu yang lebih kecil akan mempercepat respon sistem.

b) Spesifikasi praktis:

1. Waktu tunak atau *settling time* ( $t_s$ ), adalah ukuran waktu yang menyatakan bahwa respon sistem telah masuk pada daerah stabil. Jika dihubungkan dengan konstanta waktu  $\tau$ , maka  $t_s$  dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$t_s (\pm 3\%) \approx 5\tau$$

$$t_s (\pm 4\%) \approx 2\tau$$

$$t_s (\pm 5\%) \approx 0,5\tau$$

2. Waktu naik atau *rise time* ( $t_r$ ), adalah ukuran waktu yang menyatakan bahwa respon sistem telah naik dari 5% ke 95% atau 10% ke 90% dari nilai respon pada keadaan tunak (*steady state*). Jika dihubungkan dengan konstanta waktu  $\tau$ , maka  $t_r$  dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$t_r (5\% - 95\%) \approx \tau \ln 19$$

$$t_r (10\% - 90\%) \approx \tau \ln 9$$

3. Waktu tunda atau *delay time* ( $t_d$ ), adalah waktu yang dibutuhkan respon mulai  $t=0$  sampai respon mencapai 50% dari nilainya pada keadaan tunak (*steady state*). Waktu tunda menyatakan besarnya faktor keterlambatan respon akibat proses *sampling*. Jika dihubungkan dengan konstanta waktu  $\tau$ , maka  $t_d$  dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$t_d (\pm 3\%) \approx \tau \ln 12$$

4. Karakteristik respon keadaan tunak (*steady state*) sistem orde pertama diukur berdasarkan kesalahan pada keadaan tunak atau *error steady state* ( $E_{ss}$ ).

$$E_{ss} = R_{ss} - C_{ss}$$

Dimana:  $E_{ss}$  = *Error steady state*

$R_{ss}$  = Masukan sistem pada *steady state*

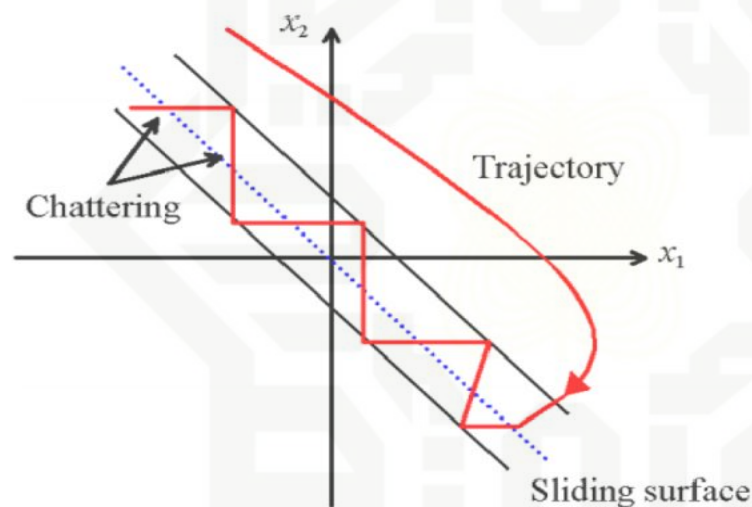
$C_{ss}$  = Keluaran sistem pada *steady state*

## 2.4 Sliding Mode Controller (SMC)

*Sliding mode controller* (SMC) merupakan sebuah kendali umpan balik penyaklaran berkecepatan tinggi yang efektif dan kokoh dalam mengendalikan sistem linier maupun non-linier. Sistem kendali ini kokoh karena menyediakan sebuah metode perancangan sistem yang tidak peka terhadap ketidakpastian parameter lingkungan dan gangguan dari luar. SMC merupakan pengendali yang didesain dengan menyediakan

sebuah pendekatan sistematis, dan memiliki performa yang konsisten di dalam ketidakpastian model parameter. Pengendali SMC telah sukses dalam penggunaan manipulasi robot, mesin kendaraan, transmisi otomatis, elektrik motor dan sistem tenaga listrik [23].

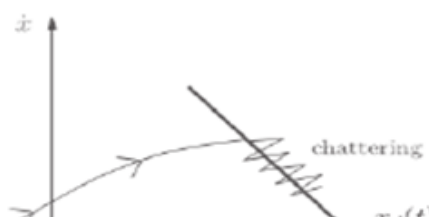
SMC pada prinsipnya menggunakan sebuah hukum kendali pensaklaran berkecepatan untuk membawa trajektori status dari sistem ke dalam sebuah permukaan tertentu dalam ruang status (disebut permukaan luncur/"*sliding surface*"), kemudian trajektori status tersebut dipelihara agar tetap meluncur pada permukaan tersebut. Proses pemeliharaan *trajektori* status pada permukaan luncur mengakibatkan terjadinya osilasi pada permukaan luncur. Osilasi ini sering disebut dengan "*chattering*". Fenomena "*chattering*" pada permukaan luncur akan berdampak pada stabilitas dari sistem kendali [23].



Gambar 2. 8 Diagram *Trajectories Status*[23]

#### 2.4.1 Chattering

SMC merupakan pengendali berumpan balik dengan pensaklaran berkecepatan tinggi (*high speed switching feedback*), sehingga dalam proses SMC mengalami *chattering* yang dapat mengganggu kestabilan sistem [23].



#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

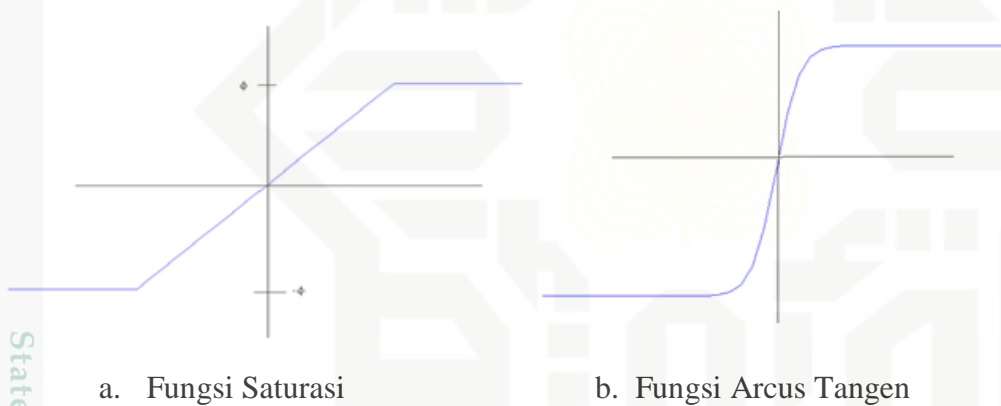
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Gambar 2. 9 *Chattering Effect*[23]

*Chattering* adalah sebuah fenomena perubahan kendali dengan frekuensi tinggi ketika trayektori disekitar permukaan bidang luncur dan ketika harga *Signum* sering berubah-ubah. Beberapa cara untuk mengurangi *chattering* adalah dengan memperluas fungsi signum menjadi saturasi, atau mengganti fungsi signum dengan arcus tangen [24]. Berikut adalah ilustrasinya:



Gambar 2. 10 Fungsi Saturasi dan Arcus Tangen[24]

#### 2.4.2

#### Perancangan Permukaan Luncur

Permukaan luncur adalah trayektori/lintasan yang dipilih dengan pertimbangan status trayektori system dapat menuju permukaan tersebut di manapun kondisi awalnya dalam waktu yang terbatas, serta status trayektori system dapat dipertahankan disekitar permukaan luncur tersebut. Permukaan luncur merupakan komponen penting dari pengendali *sliding mode* sebagai tempat trayektori keadaan meluncur dari kondisi awal (*initial condition*) menuju keadaan yang diinginkan (*reference point*). Permukaan luncur secara umum didisain dengan menggunakan kombinasi linier *variable state*[23].

Permukaan luncur didefinisikan sebagai  $\sigma(x)$  atau  $S$  :



$$S(x, t) = \left( \frac{d}{dt} + \lambda \right)^{n-1} e \quad (2.12)$$

Jika terdapat suatu sistem dinamis :

$$\dot{x}^n(t) = f(x, t) + b(x, t) \cdot U + d(t) \quad (2.13)$$

dimana  $u$  adalah *control input*,  $x$  merupakan faktor keadaan,  $f(x, t)$  dan  $b(x, t)$  berupa fungsi terbatas,  $d(t)$  adalah gangguan eksternal. Jika  $r(t)$  merupakan nilai yang diinginkan (*set point*) dan  $y(t)$  adalah nilai keluaran (*output*), maka *error* dapat dinyatakan dengan :

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (2.14)$$

Dengan  $\lambda$  berupa konstanta positif. Dimana fungsi *swicthing* ini digunakan untuk menentukan besarnya nilai  $u$  agar memenuhi kondisi *static sliding mode*:

$$S(x, t) = \left( \frac{d}{dt} + \lambda \right)^{n-1} e \quad (2.15)$$

Permukaan luncur untuk *dynamic sliding mode* :

$$S(x, t) = \left( \frac{d}{dt} + \lambda \right)^{n+1-1} e \quad (2.16)$$

Permukaan luncur (*sliding surface*) merupakan persamaan yang memenuhi :

Dengan  $\lambda$  merupakan suatu konstanta positif. Dimana fungsi *switching* ini digunakan untuk menentukan besarnya nilai  $u$  agar memenuhi kondisi *sliding*. Permukaan *sliding* ini membagi bidang menjadi dua bagian, yaitu  $S > 0$  dan  $S < 0$ . Agar *trajectory* keadaan dapat meluncur, maka sistem harus berada dalam kondisi *sliding*. Dengan demikian, besar nilai *input* kontrol bergantung pada nilai  $S(x, t)$ . Perancangan *control law* (aturan kontrol) pada SMC dilakukan hingga  $e(t)$  bergerak menuju permukaan *sliding* dan meluncur pada permukaan tersebut untuk semua  $t \geq 0$ .

Permukaan luncur merupakan persamaan yang memenuhi :

$$S(x, t) = 0 \quad (2.17)$$

Besarnya nilai *control input* pada SMC bergantung pada nilai  $S$ , sehingga memenuhi pertidaksamaan yang disebut kondisi *sliding*. kondisi tersebut ditulis dalam bentuk sebagai berikut :

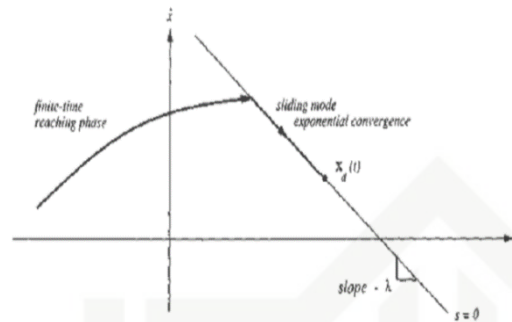
$$\dot{S} \leq -\eta |S| \quad (2.18)$$

Dimana :





$S$  = Permukaan luncur  
 $\lambda$  = Konstanta Positif  
 $n$  = Orde Sistem  
 $e$  = Error



Gambar 2. 11 Permukaan Luncure SMC[23]

## 2.4.3

### Sinyal Kendali

Untuk mendapatkan suatu sinyal kendali yang mampu membawa status *trayektori* menuju permukaan luncur dan mempertahankan status *trayektori* tetap berada di sekitar permukaan luncur, diperlukan dua macam sinyal kendali. Sinyal kendali yang pertama adalah sinyal kendali *ekivalen* yang berfungsi untuk membawa status *trayektori* menuju permukaan luncur ( $u_{eq}$ ) dan sinyal kendali yang kedua adalah sinyal natural yang berfungsi untuk mempertahankan *trayektori* agar tetap berada di sekitar permukaan luncur ( $u_n$ ).

Sinyal kendali total pada SMC adalah sebagai berikut :

$$u = u_{eq} + u_n \quad (2.18)$$

$u_{eq}$  = Sinyal Kendali Ekuivalen

$u_n$  = Sinyal Kendali Natural

## 2.4.4

### Persamaan Lyapunov

*Proportional* beberapa cara yang dapat digunakan untuk menguji kestabilan suatu sistem proses. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah persamaan Lyapunov. Lyapunov mengembangkan metod euntuk menentukan stabilitas dari sistem proses didasarkan dari pengamatan energi yang disimpan. Dengan menggunakan persamaan Lyapunov, maka stabilitas dari sistem proses yang berbentuk linier maupun tidak linier dapat ditentukan.

Alexander Mikhailovitch Lyapunov, seorang ilmuwan dari Rusia, telah mengembangkan metode untuk menentukan stabilitas dari sistem proses didasarkan dari penghematan energi yang disimpan. Menurut Lyapunov, hubungan antara kestabilan dan energi adalah sebagai berikut: Sistem dikatakan stabil apabila energi yang disimpan makin lama makin kecil, maka osilasi yang terjadi juga semakin lama semakin kecil. Sebaliknya, sistem dikatakan tidak stabil apabila energi yang disimpan makin lama makin besar, maka osilasi yang terjadi semakin lama semakin besar juga. Agar sistem dapat dianalisis kestabilannya, maka perlu dibuat model matematis yang menghubungkan antara masukan, proses dan keluaran.[23]

Pada sistem pengendalian, diharapkan agar keluaran atau respon dari sistem akan menuju nilai yang sama dengan masukan atau *setpoint*. Hal ini identik dengan mengharapakan agar nilai *error* dapat menuju nilai nol serta tetap berada pada nilai nol. Mengacu pada teori *state-space*, di mana nilai *error* dapat diambil sebagai variabel *state* sistem, maka dapat juga diambil suatu fungsi skalar:

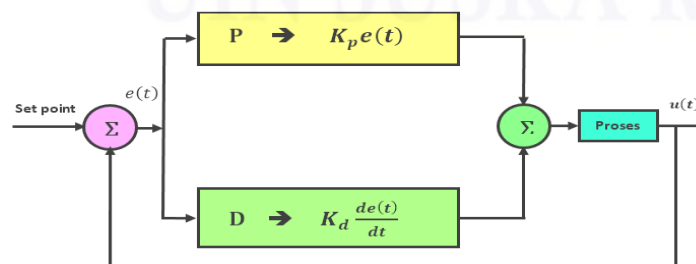
$$V(x) = \frac{1}{2}[S]^2 \quad (2.19)$$

yang memenuhi :

$$\dot{V}(x) = S\dot{S} < 0 \quad (2.20).$$

## 2.5 Propotional and Derivative (PD)

Di dalam dunia industri maupun militer, peran sistem kontrol sangat berpengaruh ke dalam kinerja sistem. Sistem kontrol yang umum digunakan adalah sistem kontrol Proportional, Integral, dan Derivatif. Sistem kontrol ini dapat berjalan secara bersamaan maupun berjalan terpisah. Masing-masing sistem kontrol ini memiliki keunggulan tertentu, di mana, kontrol proporsional unggul dalam *rise time* yang cepat, kontrol integral unggul dalam memperkecil kesalahan, serta kontrol derivatif mempunyai keunggulan untuk memperkecil *error* atau mengurangi *overshoot/undershoot* [25].



Gambar 2. 12 Diagram Blok PD [24].



Gambar 2.12 merupakan blok diagram kontrol PD. Kontrol (P) dan Derivatif (D) dapat digunakan bersamaan secara paralel ataupun digunakan terpisah Parameter pengontrol Proportional Integral Derivatif (PID) selalu berdasarkan tinjauan terhadap karakteristik dari sistem yang diatur (*plant*). Dengan demikian, parameter PD dapat dicari setelah perilaku *plant* diketahui, serumit apapun *plant* tersebut.

Persamaan matematis dari kontrol PD adalah sebagai berikut, di mana  $u(t)$  merupakan sinyal kendali PD dalam domain waktu :

$$u(t) = K_p e(t) + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (2.21)$$

dengan :

$K_p$  : Proportional Gain  
 $K_d$  : Derivatif Gain  
 $e$  : error (*Set point – Parameter Value*)  
 $t$  : waktu (*second*)

Karakteristik pengontrol PD sangat dipengaruhi oleh besar dari kedua parameter P dan D. Efek dari setiap pengontrol proporsional dan derivatif pada sistem *loop* tertutup disimpulkan dalam tabel berikut:

Tabel 2. 1 Karakteristik gain dari pengontrol Proportional, dan Derivatif dan pengaruhnya terhadap sistem [25].

Respon loop tertutup	Waktu naik	Overshoot	Waktu turun	Kesalahan keadaan tunak
$k_p$	Menurun	Meningkat	Perubahan kecil	Menurun
$k_d$	Perubahan kecil	Menurun	Menurun	Perubahan kecil

## 2.6 Metode Hueristik

Metode Heuristik merupakan sebuah metode pemecahan masalah menggunakan eksplorasi dan cara coba-coba Heuristik adalah suatu aturan atau metode untuk bisa menyelesaikan solusi secara penalaran. Rancangan metode Heuristik ini diperoleh dengan cara perubahan parameter yang disesuaikan dengan kinerja plant yang akan dikendalikan. Untuk perancangan sistem pengendalian PD dilakukan pencarian nilai besarnya  $K_p$  dan



Td. Maka pengujian dilakukan dalam beberapa tahap, dengan penalaan (*Heuristic Method*):

1. Penalaan parameter pengendali dimulai dengan hanya menggunakan pengendali P,
2. kemudian baru ditambahkan pengendali D.

Pemberian nilai parameter disesuaikan dengan karakteristik respon sistem yang diperoleh [27].

## 2.7 Kriteria Integral Menggunakan *Integral of Absolute Error* (IAE)

Kriteria integrasi membutuhkan data tanggapan mulai dari  $t = 0$  hingga mencapai keadaan tunak. Dengan demikian kriteria ini didasarkan pada seluruh tanggapan dari proses yang bersangkutan. Kriteria integral yang digunakan pada penelitian ini adalah kriteria IAE (*Integral of Absolute Error*) yang bertujuan untuk mendapatkan nilai IAE sekecil mungkin dengan pemilihan kriteria tergantung pada karakteristik sistem proses dan beberapa syarat tambahan yang diperoleh dari tanggapan lup tertutup. Kriteria IAE lebih dipopuler dikalangan praktisi industri sebab mudah dalam pemakaiannya serta sangat cocok untuk menekan error yang kecil.

$$IAE = \int_0^{\infty} |e| dt \quad (2.22)$$

## 2.8 Perangkat Lunak MATLAB

Kendali Matlab merupakan singkatan dari *Matrix Laboratory* yang berarti bahasa pemrograman tingkat tinggi (semakin tinggi tingkat bahasa pemrograman maka semakin mudah cara penggunaannya) dengan kinerja tinggi untuk komputasi masalah teknik. Matlab mengintegrasikan komputasi, visualisasi, dan pemrograman dalam sebuah lingkungan tunggal. Matlab memberikan sistem interaktif yang menggunakan konsep *array/matrix* sebagai variabel elemennya tanpa membutuhkan pendeklarasian *array*.

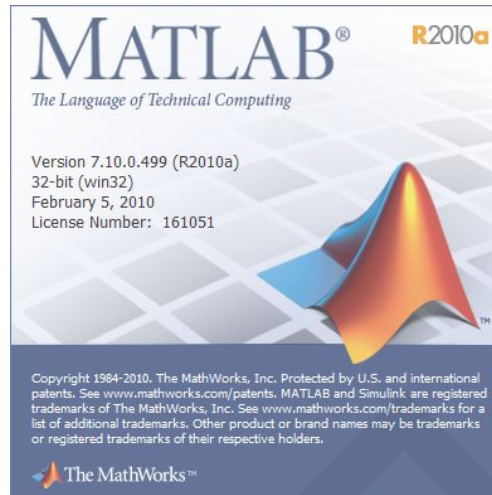


#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

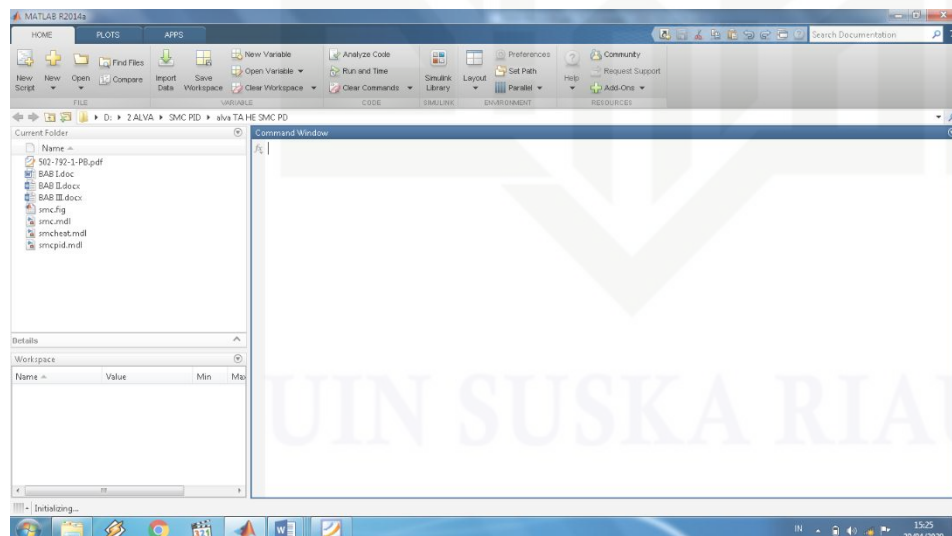
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2. 13 Tampilan awal MATLAB

Matlab dikembangkan oleh Mathwork pada tahun 1970. Aplikasi Matlab ini banyak digunakan dalam bidang yang membutuhkan perhitungan matematika yang rumit, dimana seluruh operasi perhitungan dalam Matlab berupa operasi matrik. Matlab dapat menampilkan hasil perhitungan dalam bentuk *plot* grafik. Pada perangkat lunak Matlab terdapat beberapa bagian penting yang digunakan dalam menjalankan program, yaitu:

1. *Command window* digunakan untuk mengetik fungsi yang diinginkan.
2. *Command history* berfungsi agar fungsi yang telah digunakan sebelumnya dapat digunakan kembali.
3. *Workspace* digunakan untuk membuat variabel yang ada dalam Matlab.

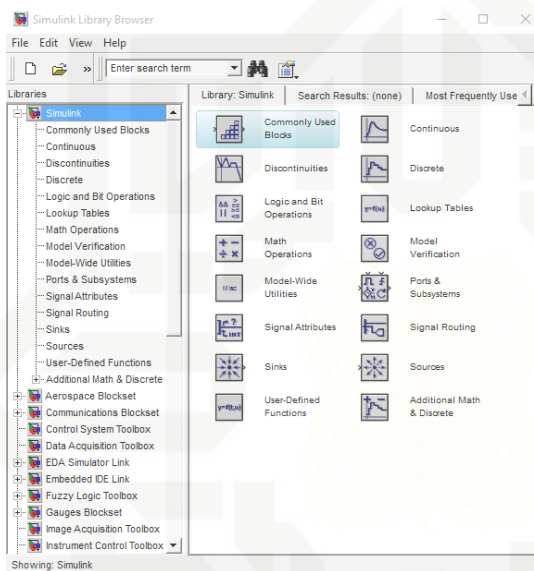


Gambar 2. 14 Tampilan Matlab



*Simulink* adalah sebuah kumpulan aplikasi dalam Matlab untuk melakukan modeling, simulasi, dan untuk melakukan analisis dinamik pada suatu sistem. Program *simulink* memudahkan *user* untuk membuat suatu simulasi lebih interaktif. Tiruan sistem diharapkan mempunyai perilaku yang sangat mirip dengan sistem fisik. Jika digunakan dengan benar, simulasi akan membantu proses analisi dan desain sistem.

*Simulink* dalam Matlab juga dapat menunjukkan performansi sistem dalam bentuk dua ataupun tiga dimensi. Dalam perancangannya *user* menjadi mudah karena adanya blok-blok diagram yang dapat dengan mudah diatur sedemikian rupa, sesuai dengan model matematis dari sistem atau *plant* yang akan dikendalikan.



Gambar 2. 15 Kotak dialog *Simulink Library Browser*

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

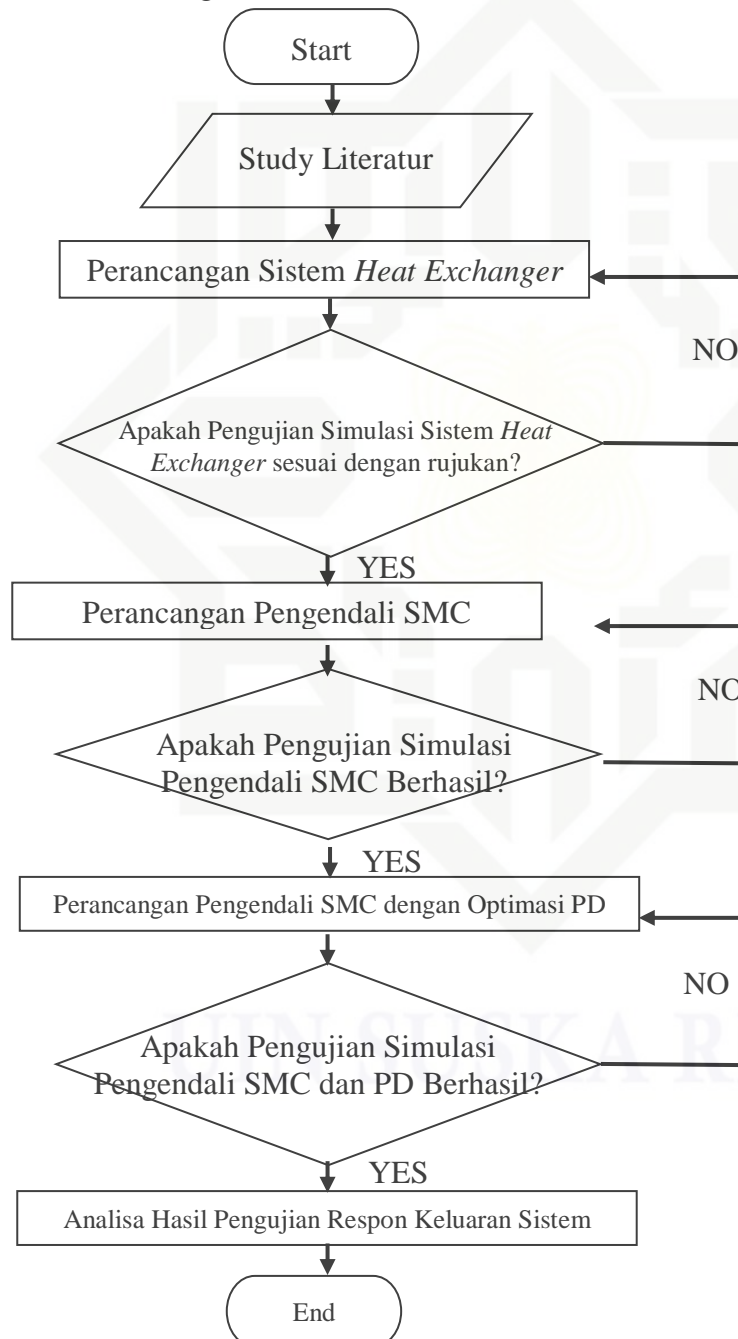
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Alur Metode Penelitian

Dalam penelitian ini ada beberapa tahap atau langkah-langkah yang penulis lakukan, mulai dari studi literatur hingga hasil akhir dalam penelitian tugas akhir ini. Adapun tahap yang dilakukan sebagai berikut :



Gambar 3.1 Flow Chart Penelitian



### 3.2 Tahapan Penelitian

Sebelum melakukan penelitian, dibutuhkan sebuah perencanaan agar penelitian ini dalam pengerjaannya sesuai dengan yang diharapkan diawal. Perencanaan dalam penelitian ini meliputi pengujian plant, penentuan judul sampai dengan tujuan yang diinginkan dari suatu penelitian sehingga terdapat beberapa tahap perencanaan yang harus dilakukan yaitu:

#### 1. Studi literatur

Melakukan *review*/telaah beberapa pustaka dan penelitian terkait, baik dari atrikel penelitian yang telah dipublikasikan maupun buku yang diterbitkan mengenai pemodelan matematis *heat exchanger*, pengendali *sliding mode controller*, dan pengendali PD.

#### 2. Perancangan simulasi *Open Loop Heat Exchanger*

Pada tahap ini dilakukan desain mode matematis *heat exchanger* pada simulasi MATLAB. Setelah perancangan simulink dibuat, maka didapat hasil *open loop* dari sistem. Hasil *open loop* ini akan diuji dan dianalisa pada tahapan pengujian *Heat Exchanger*.

#### 3. Perancangan pengendali SMC

Pada tahap ini, lakukan terlebih dahulu penurunan rumus SMC pada *Heat Exchanger*. Setelah itu lakukan desain berdasarkan penurunan rumus SMC tersebut.

#### 4. Pengujian perancangan pengendali SMC

Pemodelan yang telah didesain pada simulink MATLAB akan diuji dan dianalisa untuk mengetahui apakah pemodelan ini sudah mencapai *setpoint* yang diinginkan. Apabila sistem tidak mencapai *setpoint* maka akan dilakukan kembali perancangan pengendali SMC, dan apabila telah sesuai maka penelitian selanjutnya adalah melakukan perancangan pengendali PD.

#### 5. Perancangan *hybrid* SMC-PD pada sistem *Heat Exchanger*

Pada tahap ini akan menggabungkan (*hybrid*) SMC dengan PD. Pada penelitian ini akan dilakukan pencarian nilai  $\eta$  dan nilai  $p$  dan  $d$ . Hal ini dilakukan untuk mencari performansi yang paling baik untuk perancangan *hybrid* SMC-PD.

#### 6. Pengujian perancangan *hybrid* SMC-PD pada sistem *Heat Exchanger*

Pemodelan yang telah didesain pada simulink MATLAB akan diuji dan dianalisa untuk mengetahui apakah pemodelan ini sudah mencapai *setpoint* yang diinginkan. Apabila sistem tidak mencapai *setpoint* maka akan dilakukan kembali perancangan *hybrid* SMC-PD, dan apabila telah sesuai maka penelitian selanjutnya adalah melakukan analisa hasil pengujian berdasarkan hasil respon keluaran sistem





7. Analisa hasil pengujian berdasarkan respon keluaran sistem

Setelah dilakukan perancangan pengendali *hybrid static* dan *dynamic*, maka akan didapat respon keluaran sistem berupa grafik yang menunjukkan variabel temperatur pada *heat exchanger*. Respon keluaran sistem akan dianalisis berdasarkan respon transien dan respon *steady state*.

### 3.3 Pengumpulan Data

Sebelum Dalam perancangan kendali SMC-PD, persamaan yang digunakan adalah persamaan fungsi alih pada persamaan (3.1)..

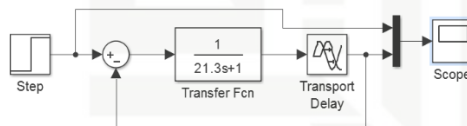
### 3.4 Penentuan Variabel

Data-data Tahap pertama penentuan variabel didapat dari grafik temperatur *real plant* pada penelitian sebelumnya [5]. Setelah penentuan variabel didapatkan dari nilai  $\tau$  dan nilai  $K_p$  pada pengumpulan data ke dalam persamaan 2.10.

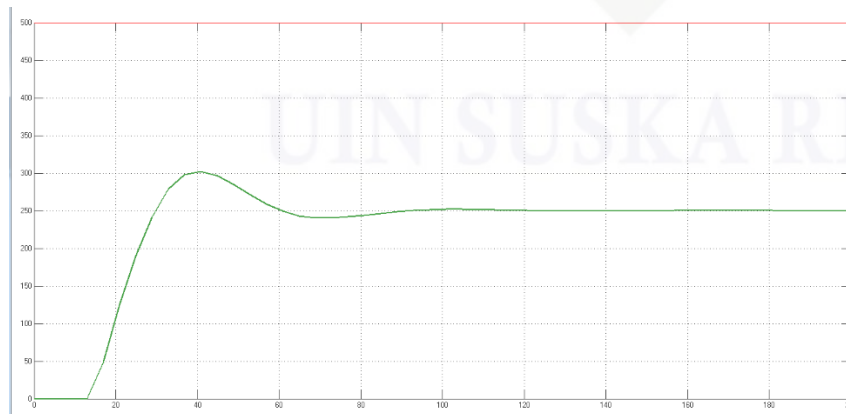
Sehingga didapatkan fungsi alih sistem proses temperatur sebagai berikut:

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{Kpe^{-\theta s}}{\tau s + 1} = \frac{1e^{-14.7}}{21.3s + 1} \quad (3.1)$$

Untuk memastikan bahwa fungsi alih sistem proses temperatur mempunyai karakteristik yang sama dengan rujukan, dibuatlah simulasi sistem untuk mengetahui respon sistem secara *close loop*, dimana diagram bloknya dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Diagram Blok *Close Loop* Sistem Heat Exchanger Tipe *Shell and Tube*



Gambar 3. 3 Grafik keluaran *Close Loop* Sistem Heat Exchanger Tipe *Shell and Tube*



Dapat dilihat bahwa respon yang berada dalam gambar dengan bentuk grafik keluaran *close loop* berdasarkan hasil identifikasi respon asli dengan menggunakan metode pendekatan orde satu menunjukkan respon yang tidak stabil karena hasil respon *close loop* tidak mencapai pada *setpoint* yang diinginkan. Hal ini dapat dilihat ketika nilai dari *setpoint* yang diberikan sebesar 1v, namun hasil respon keluaran *close loop* tanpa menggunakan pengendali menunjukkan nilai sebesar 0.5v. Hal ini berarti dapat dikatakan bahwa sinyal keluaran dari temperatur belum mencapai *set point* dengan kata lain proses temperatur tidak dapat mengikuti nilai *set point* yang diberikan yaitu 1v. Secara analitik hal ini dapat dibuktikan dengan mengidentifikasi sistem sebagai berikut:

a. Konstanta Waktu ( $\tau$ )

Nilai saat  $\tau$  = respon *output steady state* x 63,2%

$$= 1 \times 0,632$$

$$= 0,632v$$

$$\text{Nilai } \tau = 40.7849 \text{ detik}$$

	1	2	3
28	40.7849	1	0.6352
29	42.7849	1	0.6466
30	44.7849	1	0.6509
31	46.7849	1	0.6492
32	48.7849	1	0.6425

Gambar 3. 4 Respon Keluaran *Close Loop* pada *Workspace*

Setelah didapatkan nilai  $\tau$  ketika 63,2% = 0,632 maka kita dapat menentukan nilai  $t$  ketika 63,2% pada tabel workspace yaitu pada saat 40.7849 detik.

b. Waktu Tunda / Delay Time ( $t_d$ )

$$\tau_d 50\% \times \text{Respon Output} = 50\% \times 1v$$

$$= 0.5v$$

$$\text{Nilai Delay Time } (t_d) = 32 \text{ detik}$$

Pada variabel di *workspace* nilai 0,5 terdapat di 32 detik.

c. Waktu Naik / Rise Time ( $t_r$ )

$$t_r 10\% - \text{Respon Output} = 10\% \times 1v$$

$$= 0.1v$$

$$\text{Nilai Rise Time } (t_r) \quad 10\% = 17 \text{ detik}$$

Pada variabel di *workspace* nilai 50 terdapat di 17 detik.

$$t_r (10\%-90\%) = 41 \text{ detik} - 17 \text{ detik} = 24 \text{ detik}$$

d. Waktu Tunak / *Settling Time* ( $t_s$ )

$$\begin{aligned} \tau_s (\pm 3\%) &= 5\tau \\ &= 5 \times 40 \\ \text{Nilai } \textit{Settling Time} (t_s) &= 200 \text{ detik} \end{aligned}$$

e. *Error Steady State* ( $e_{ss}$ )

$$\begin{aligned} e_{ss} &= R_{ss} - C_{ss} \\ &= sp - Y_{ss} \\ &= 1v - 0,5001v = 0,4999v \end{aligned}$$

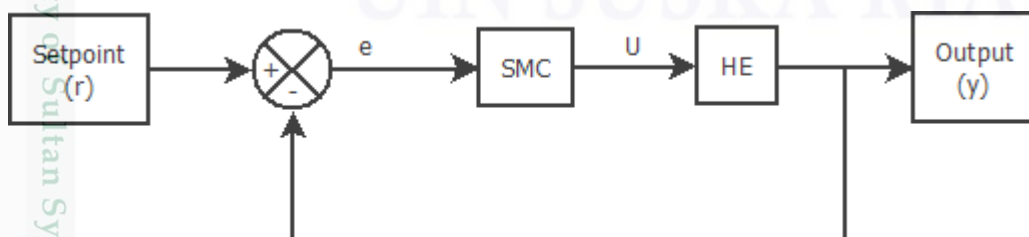
Tabel 3.1 Analisa respon *close loop setpoint* 1v

Analisa Respon	Nilai
$\tau$	40.7849 detik
$t_s (\pm 3\%)$	205 detik
$t_r (10\% - 90\%)$	24 detik
$t_d (3\%)$	32 detik
$e_{ss}$	0,4999v

Dari analisa diatas, penggunaan nilai set point sebesar 1v dikarenakan penelitian ini merujuk dari penelitian yang dilakukan oleh Murie Dwiyaniti yang mana pada penelitiannya variabel temperatur yang digunakan diukur dalam bentuk tegangan. Sehingga pada penelitian ini variabel yang digunakan mengikuti variabel penelitain sebelumnya, maka nilai set point yaitu 1v. Penggunaan nilai set point 1v dikarenakan penelitian ini hanya berskala laboratorium bukan industri pabrik.

### 3.5 Perancangan Pengendali *Sliding Mode Controller* (SMC)

Pengujian blok pengendalian *temperature* pada sistem HE secara sederhana ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Diagram Blok Pengendalian *Temperature* pada HE dengan



## Pengendali *Sliding Mode*

Temperatur fluida di dalam tangki HE harus dijaga konstan dengan mengatur banyaknya uap yang diberikan ke HE. Pengaturan uap ini dilakukan dengan mengatur tegangan input pada *valve* yang menjadi *input step*-nya dan keluaran sistemnya berupa temperature dari HE-nya.

Fungsi alih sistem yang telah ditunjukkan pada persamaan 2.10 akan dimisalkan menjadi fungsi transfer dimana koefisien numerator dan denominator dimisalkan menjadi variabel yang bernilai tetap. Maka *transfer function plant* akan menjadi:

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{c}{as + b}$$

dimana: a: 21,3

b: 1

c: 1

Kemudian direpresentasikan dalam bentuk persamaan diferensial (dengan asumsi bahwa semua nilai awal adalah nol), maka persamaannya dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{1}{21,3s+1} \quad (3.2)$$

Dari fungsi alih tersebut, kemudian diubah ke dalam bentuk persamaan Laplace berikut ini:

$$21,3sY(s) + Y(s) = U(s) \quad (3.3)$$

Selanjutnya, persamaan (3.3) diubah ke persamaan invers Laplace, sehingga menjadi:

$$21,3 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = u(t) \quad (3.4)$$

$$21,3 \dot{y} + y = u$$

$$a\dot{y} + by = cu$$

$$a\dot{y} = -by + cu \quad (3.5)$$

$$\dot{y} = -\frac{b}{a}y + \frac{c}{a}u \quad (3.6)$$

Persamaan untuk sinyal *error* adalah:

$$e = r - y \quad (3.7)$$

dimana:

$e$  : *error*

$y$  : keluaran (*output*)

$r$  : nilai yang diinginkan (*setpoint*)

Karena sistem HE berorde satu, maka persamaan (2.12) menjadi seperti berikut.





$$S(y, t) = \left( \frac{d}{dt} + \lambda \right)^{1-1} e$$

$$S(y, t) = \left( \frac{d}{dt} + \lambda \right)^0 e$$

$$S(y, t) = e \quad (3.8)$$

Substitusikan persamaan (3.7) ke persamaan (3.8), sehingga bentuk fungsi *switching* seperti berikut:

$$S(y, t) = r - y \quad (3.9)$$

$$\dot{S}(y, t) = \dot{r} - \dot{y} \quad (3.10)$$

Substitusikan persamaan (3.6) ke persamaan (3.10).

$$\dot{S}(y, t) = \dot{r} - \left( -\frac{b}{a}y + \frac{c}{a}u \right)$$

$$\dot{S}(y, t) = \dot{r} + \frac{b}{a}y - \frac{c}{a}u \quad (3.11)$$

Untuk Menentukan nilai sinyal kendali ekuivalen ( $U_{eq}$ ) dari persamaan (3.11),

Substitusikan nilai  $\dot{S} = 0$ .

$$0 = \dot{r} + \frac{b}{a}y - \frac{c}{a}u$$

$$\frac{c}{a}u = \dot{r} + \frac{b}{a}y$$

$$U_{eq} = \frac{a}{c} \left( \dot{r} + \frac{b}{a}y \right)$$

$$U_{eq} = \frac{a}{c} \dot{r} + \frac{b}{c}y \quad (3.12)$$

$$U_{eq} = \frac{1}{c} (a\dot{r} + by) \quad (3.13)$$

Untuk mendapatkan sinyal kendali *sliding mode*  $U = U_{eq} + U_n$ , berdasarkan persamaan

Lyapunov maka didapatkan nilai  $U_n$  dengan mensubstitusikan persamaan (3.11) ke (2.20), menjadi berikut ini:

$$\dot{V} = S\dot{S}$$

$$\dot{V} = S \left\{ \dot{r} + \frac{b}{a}y - \frac{c}{a}u \right\} \quad (3.14)$$

Substitusikan persamaan (2.18) ke (3.14), sehingga didapat:

$$\dot{V} = S \left\{ \dot{r} + \frac{b}{a}y - \frac{c}{a}(U_{eq} + U_n) \right\} \quad (3.15)$$

Substitusikan persamaan (3.13) ke (3.15), menjadi:

$$\dot{V} = S \left\{ \dot{r} + \frac{b}{a}y - \frac{c}{a} \left( \frac{1}{c} (a\dot{r} + by) + U_n \right) \right\} \quad (3.16)$$



$$\begin{aligned} \dot{V} &= S \left\{ \dot{r} + \frac{b}{a} y - \dot{r} - \frac{b}{a} y - \frac{c}{a} U_n \right\} \\ \dot{V} &= S \left\{ -\frac{c}{a} U_n \right\} \end{aligned} \quad (3.17)$$

$$\begin{aligned} -\frac{c}{a} U_n &= -\eta \text{sign}(S) \\ U_n &= -\frac{a}{c} (-\eta \text{sign}(S)) \\ U_n &= \frac{a}{c} (\eta \text{sign}(S)) \end{aligned} \quad (3.18)$$

Keterangan:  $U_n$  = Sinyal kendali natural.

Sehingga, sinyal kendali total dapat dicari seperti di bawah ini:

$$U_{total} = U_{eq} + U_n \quad (3.19)$$

Substitusikan persamaan (3.13) dan (3.18) ke (3.19), sehingga didapat:

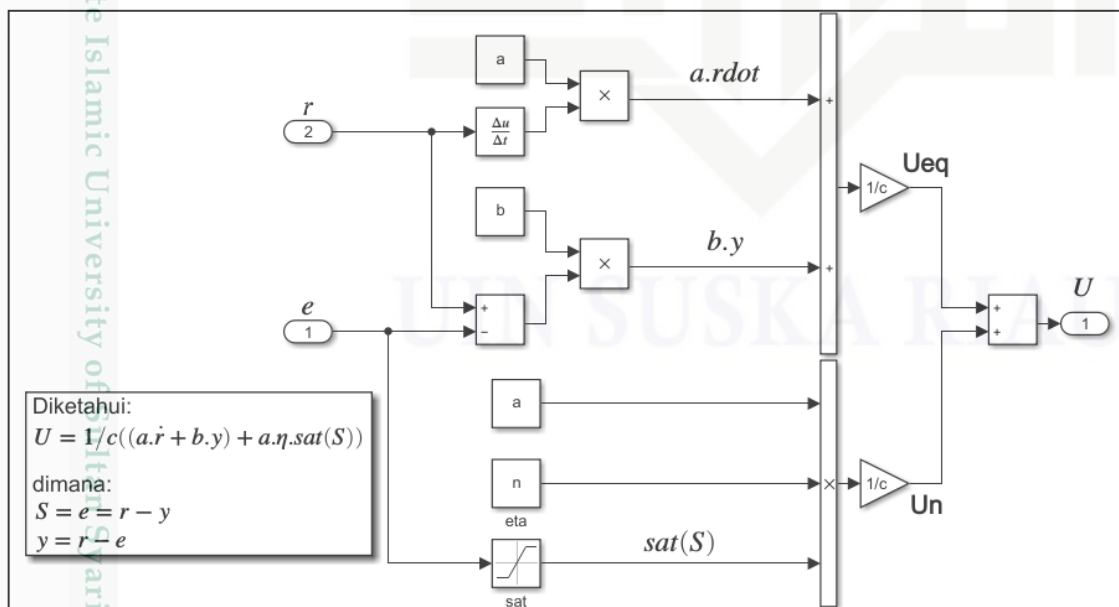
$$\begin{aligned} U_{total} &= \frac{1}{c} (a\dot{r} + by) + \frac{a}{c} (\eta \text{sign}(S)) \\ U &= \frac{1}{c} \{ (a\dot{r} + by) + a\eta \text{sign}(S) \} \end{aligned} \quad (3.20)$$

Keterangan:  $U_{total}$  = Sinyal kendali total yang masuk ke sistem HE.

Fungsi diskontinyu *signum* pada persamaan (3.20) diubah menjadi fungsi kontinyu saturasi dengan tujuan untuk menghilangkan permasalahan *chattering* pada *pengendali sliding mode*. Sehingga persamaan (3.20) menjadi:

$$U = \frac{1}{c} \{ (a\dot{r} + by) + a\eta \text{sat}(S) \} \quad (3.21)$$

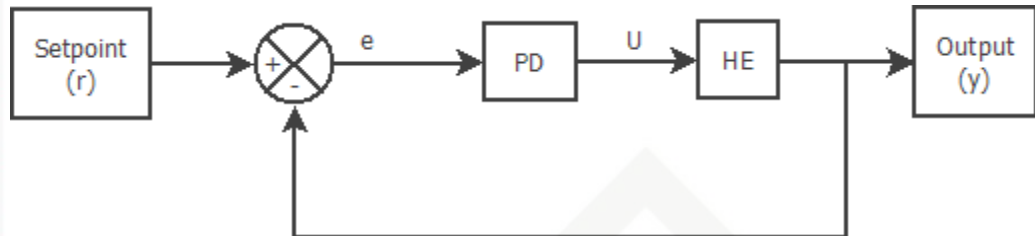
Dari persamaan (3.21) dapat dibuat diagram blok Simulink menjadi pada gambar di bawah ini.



Gambar 3. 6 Diagram Blok Simulink Pengendali *Sliding Mode*

### 3.6 Perancangan Pengendali Propotional Derivatif (PD)

Diagram blok pengend pengendalian *temperature* pada sistem HE menggunakan pengendali SMC-PD secara sederhana ditunjukkan pada Gambar 3.7.

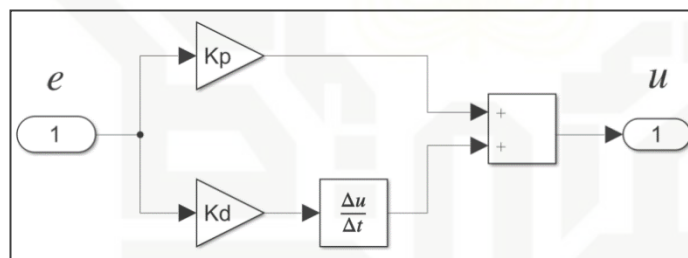


Gambar 3. 7 Diagram Blok Pengendalian *Temperature* pada HE dengan Pengendali PD

Setelah melakukan perancangan pengendali SMC, selanjutnya adalah melakukan perancangan pengendali PD yang nanti akan digabungkan (*hybrid*) dengan pengendali SMC. Sinyal kendali untuk Pengendali PD mengacu dari persamaan (2.21) adalah:

$$u(t) = K_p e(t) + K_d \frac{d}{dt} e(t)$$

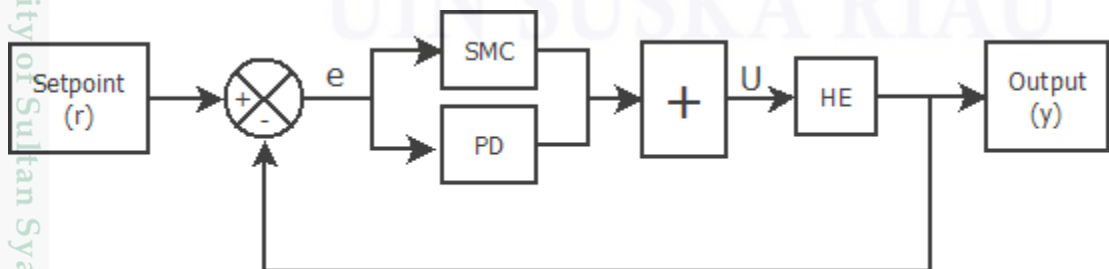
Dari persamaan (2.21) di atas dapat dibuat diagram blok Simulink menjadi pada gambar di bawah ini.



Gambar 3. 8 Diagram Blok Simulink Pengendali PD

### 3.7 Perancangan Pengendali *Hybrid Sliding Mode dan Proptional Derivatif*

Diagram blok pengendalian *temperature* pada sistem HE menggunakan pengendali SMC-PD secara seerhana ditunjukkan pada Gambar 3.9.



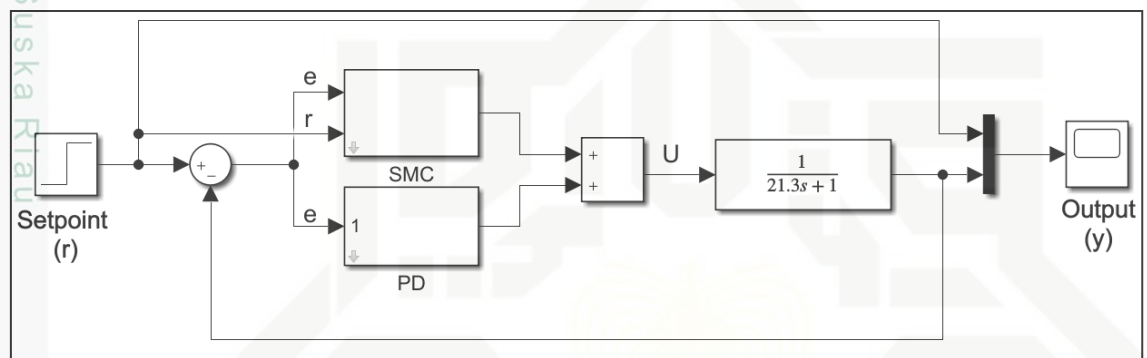
Gambar 3. 9 Diagram Blok Pengendalian *Temperature* pada HE dengan Pengendali SMC-PD

Berdasarkan Gambar 3.6, Sinyal kendali *hybrid* ( $U$ ) dengan menjumlahkan sinyal kendali SMC (Persamaan (3.21) dan sinyal kendali PD (Persamaan (2.21), sehingga dapat dihitung:

$$U = \text{Sinyal Kendali SMC} + \text{Sinyal Kendali PD}$$

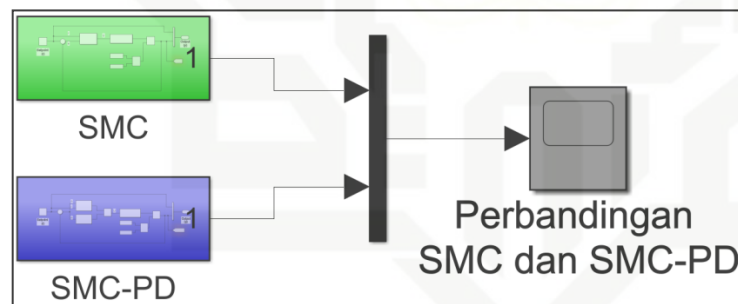
$$U = \frac{1}{c} \{ (ar + by) + a\eta \text{sat}(S) \} + \left\{ K_p e(t) + K_d \frac{d}{dt} e(t) \right\}$$

Sehingga dapat dibuat diagram blok Simulink seperti berikut ini.



Gambar 3. 10 Diagram Blok Simulink dengan Pengendali SMC-PD

### 3.8 Perbandingan Pengendali SMC dan Pengendali SMC-PD



Gambar 3. 11 Diagram Blok Simulink Perbandingan Pengendali SMC dan SMC-PD





## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian simulasi dan analisis sistem *Heat Exchanger* didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan penambahan pengendali PD yang di *hybrid* dengan pengendali SMC, memiliki nilai *delay time*, *rise time*, dan *settling time* yang lebih cepat serta *error steady state* yang lebih kecil bahkan bernilai 0 dalam mengatasi perubahan *setpoint* yang diberikan dibandingkan pengendali SMC.
2. Pengendali SMC-PD dapat mengurangi *error steady state* yang terjadi akibat fenomena *chattering* dan mempercepat respon sistem dalam mencapai kestabilan (mencapai nilai *setpoint*) dengan *rise time* = 0.0225 detik, *delay time*= 0.0098 detik, *settling time* = 0.0451 detik, dan *error steady state* = 0v. Sedangkan untuk Pengendali SMC adalah *rise time* = 0.0259 detik, *delay time*= 0.01 detik, *settling time* = 0.0392 detik, dan *error steady state* = 0.0009v) .

#### 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, peneliti melakukan perancangan pengendali dengan mengkombinasikan (*hybrid*) antara pengendali SMC dan PD dalam pengendalian temperatur pada sistem HE. Diharapkan untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan pengendali lain seperti pengendali MRAC, LQR, Fuzzy, atau yang lainnya, kemudian membandingkan antar pengendali yang digunakan untuk mendapatkan hasil yang terbaik.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementrian Perindustrian Republik Indonesia, "Kebutuhan Tenaga Kerja Industri Naik 8% Hingga Tahun 2035," Depok, 2019.
- [2] Ogata, Katshuiko. "Modern Control Engineering Fourth Edition". Prince Hall. 1970.
- [3] Faizal, Ahmad. Pengendalian Level Coupled Tank Menggunakan Metode Sliding Mode Control (SMC) Hybrid Proportional Integral Derivative (PID) di Simulink Matlab. Jurnal Sains, Teknologi dan Industri.. Vol. 13 No. 1 Hal. 115-122. 2015
- [4] Ekasari, M Fathimah dkk. "Pengendali *Temperature* Fluida pada *Heat Exchanger* Dengan Menggunakan *Algoritma Model Predecative Control* (MPC). 2014
- [5] Dwiyantri, Murie, M'oro, Kendi. "Tuning Parameter PID dengan Metode Ciancone pada Plant *Heat Exchanger*". 2013
- [6] Ariyanto, Eko, Cekdin, Kemas, "Pemodelan dan /simulasi PID Kontrol pada Alat Penukar Panas". 2015
- [7] Amri, Djulil. "Analisa Respon Pengendalian *Feedforward* dan PID pada Pengendalian Temperatur *Heat Exchanger*". 2014.
- [8] Herlambang, Teguh. *Desain Pengendalian Ketinggian Air dan Temperatur Uap pada Sistem Steam Drum Boiler dengan Metode Sliding Mode Control (SMC)*. 2010.
- [9] Mardhotillah, Dara, "Perancangan Pengendali *Sliding Mode* dengan Optimasi PID untuk Pengendalian Posisi pada *Magnetic Levitation Ball*" 2017.
- [10] Saputra, Anggi "Pengendalian Level Dan Konsentrasi Pada Continuous Stirred Tank Reactor (Cstr) Menggunakan *Sliding Mode Control* dengan Permukaan Luncur *Propotional Derivative*," 2014
- [11] Faizal, Ahmad, Sitepu, Markus "Analisis Sistem kendali *Hybrid sliding Mode Control* (SMC) –Fuzzy pada *Inverted Pendulum*". 2017.
- [12] Arinda, Radita, "Penlaan Kendali PID untuk Pengendali Proses". 2012.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



- [13] Chen, Chien,dkk. “*Fuzzy Sliding mode of a Magnetic Ball suspension System*”. *International Journal of Fuzzy system*. 2009
- [14] Mursyitah, dian. “Studi Perfomasi Pengendali *Sliding Mode* dan PID pada Pengendalian Kecepatan Motor DC”. 2014
- [15] Rachim,Vega Pradana, dkk. “Desain Sistem Kendali Ulisar (UUV) *Unmanner Underwater Vehicle*”. 2012.
- [16] Faizal, Ahmad. “Pengendalian Level Coupled Tank Menggunakan Metode Sliding Mode Control (SMC) Hybrid Proportional Integral Derivative (PID) di Simulink MATLAB”. 2015.
- [17] Rahman, Abdul. “Analisa Komoaratif Perancangan Kendali SMC-PD secara Paralel dan Serial terhadap Sumbu Elevasi pada Sistem *Turret-gun*”. 2020
- [18] Tunggul M, Sitompul. “Alat Penukar Kalor”. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.1991.
- [19] <https://www.thermaxglobal.com/process-cooling/air-cooled-heat-exchanger/>
- [20] Napitupulu H, Farel. :Rancangan Bangun Alat Penukar Kalor *Shell and Tube* dengan Satu Lalan Cangkang dan Dua Lalan Tabunf Sebagai Pemas Air”. 2018
- [21] W, L, Slotine. “*Applied Nonlinear Control*”. *Prentice Hall*.1991
- [22] Andriarti, Rika. ‘ Teknik kontrol *Sliding Mode* untuk *Autopilot* Roket”.Penelitian Bidang Kendali, Pustekwagan. LA PAN. 2004
- [23] Jhonson, M.A dan Moradi, M.H. “*PID Control: New identifi catu in and Design Methods*”.2005
- [24] Kurniawan,R. “Perancangan Kontroler PID dan *Sliding Mode Control* untuk Kestabilan Hover pada UAV Trirotor”. 2014
- [25] Waluyo. “Analisis Penalaran Kontrol PID pada Simulasi Kendali Kecepatan Putaran Motor DC berbeban menggunakan Metod Heuristik.2013

2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.



## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

**NUR ALFARISI**, lahir di Medan 09 November 1995 merupakan anak ketiga dari pasangan Nurman dan Syamsimar yang beralamat di Jl. Bina Krida Panam, Pekanbaru, Provinsi Riau.

*Email* : nur.alvarisi@gmail.com

*Hp* : 0812 3972 2399



Riwayat pendidikan yang pernah penulis tempuh ialah dimulai dari TK di kota Medan pada tahun 2000-2001 yang dilanjutkan di SDN 031 Tampan Pekanbaru pada tahun 2001-2007, kemudian melanjutkan kembali di SMP N 23 Pekanbaru pada tahun 2007-2010. Setelah itu penulis melanjutkan pendidikan di SMKN 2 Pekanbaru pada tahun 2010-2013. Setelah menyelesaikan pendidikan di sekolah menengah kejuruan penulis langsung melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi pada tahun 2013 di Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, Fakultas Sains dan Teknologi, Program Studi Teknik Elektro, dengan mengambil bidang kajian Elektronika dan Instrumentasi, lalu penulis menyelesaikan pendidikan pada tahun 2021 dengan penelitian Tugas Akhir berjudul **“DESAIN KENDALI SMC PD UNTUK PENGENDALIAN TEMPERATUR PADA SISTEM HEAT EXCHANGER”**

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak cipta ini milik UIN Suska Riau State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

UIN SUSKA RIAU